

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

CARRERA:

INGENIERÍA AMBIENTAL

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:

INGENIERA AMBIENTAL

TEMA:

**ESTIMACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES BASADOS EN EL
ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DE LA FASE AGRÍCOLA DE LA CADENA
AGROALIMENTARIA CONVENCIONAL Y AGROECOLÓGICA DE LA
LECHUGA (LACTUCA SATIVA) EN EL CANTÓN CAYAMBE**

AUTORA:

ERIKA SABRINA LOACHAMÍN OÑA

TUTOR:

RONNIE XAVIER LIZANO ACEVEDO

Quito, febrero del 2019

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo Erika Sabrina Loachamín Oña, con documento de identificación N° 172395906-8, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autora del trabajo de titulación intitulado: “ESTIMACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES BASADO EN EL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DE LA FASE AGRÍCOLA DE LA CADENA AGROALIMENTARIA CONVENCIONAL Y AGROECOLÓGICA DE LA LECHUGA (LACTUCA SATIVA) EN EL CANTÓN CAYAMBE”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: INGENIERA AMBIENTAL, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autora me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

.....
Erika Sabrina Loachamín Oña
172395906-8
Febrero, 2019

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo experimental, ESTIMACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES BASADO EN EL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DE LA FASE AGRÍCOLA DE LA CADENA AGROALIMENTARIA CONVENCIONAL Y AGROECOLÓGICA DE LA LECHUGA (LACTUCA SATIVA) EN EL CANTÓN CAYAMBE, realizado por Erika Sabrina Loachamín Oña, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, febrero de 2019

.....
Ronnie Xavier Lizano Acevedo
171429158-8

DEDICATORIA

*A Dios por la vida y la oportunidad de estudiar esta carrera que me permite
aportar a la conservación del ambiente.*

*A mis amados padres Mario y Margot, quienes siempre me han protegido y
apoyado incondicionalmente en todos los momentos.*

*A mis abuelitos, Javier y Rosa por todo el amor, cariño y palabras de aliento
en cada etapa de mi vida.*

*A mis amados y molestosos hermanos, Ricardo, Adri y Marlon por cada
momento de felicidad juntos y en compañía de nuestros chiquis.*

*Y a todos los productores agrícolas por su ardua labor quienes me han
mostrado el fuerte trabajo que implica la agricultura, así como las ganas y ánimo
para que sus productos lleguen a nuestra mesa. Y en especial a los productores
agroecológicos quienes aportan el cuidado al ambiente.*

Erika Sabrina

AGRADECIMIENTOS

A Dios por todos los momentos que influyeron a desarrollar este documento.

A mi familia por ser la fuente el amor, felicidad, apoyo y paciencia.

Un agradecimiento especial a Jonathan, quien es un pilar fundamental en mi corazón, además de todo el apoyo que me ha brindado en el transcurso de la vida universitaria y personal para el desarrollo de esta investigación; estaré eternamente agradecida por el apoyo, amistad, ánimos, paciencia, ganas y sobre todo el amor que me ha brindado en cada momento.

A la Universidad Politécnica Salesiana por todo el conocimiento adquirido para mi formación profesional y personal como buena cristiana y honrada ciudadana. De igual manera al Grupo de Investigación de Ciencia Ambientales (GRICAM) y a mis compañeros Pao, Will y Flor por el trabajo de campo en conjunto para la presente investigación.

A la organización BioVida y a mi estimada amiga Erlinda por su ardua labor como productora agroecológica certificada, su compromiso con el empoderamiento de la mujer y la llevo en el corazón por la conservación del ambiente, destaco también a Margarita, Cesar y Manuel por el apoyo brindado.

Agradecimientos a mis amigos Erika y Stony por su amistad, confianza y motivación.

A Andre, Juan y a los compañeros de la Asociación Internacional de Agricultura y Ciencias Relacionadas (IAAS), por los gratos momentos y grandes logros juntos.

Erika Sabrina

INDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVOS	5
2.1. Objetivo general	5
2.2. Objetivos específicos	5
3. MARCO TEÓRICO	6
3.1. Sistemas agroalimentarios.....	6
3.1.1. Agricultura convencional.....	6
3.1.2. Agroecología	9
3.2. Cadena agroalimentaria.....	10
3.3. Soberanía Alimentaria	10
3.4. Normativa de fortalecimiento.....	11
3.5. Sistema participativo de garantía.....	12
3.5.1. Dimensiones de la agroecología.....	12
3.6. Análisis de ciclo de vida	13
3.7. Indicadores Ambientales.....	13
3.8. Huella de Carbono	14
3.8.1. Cambio climático.....	14
3.8.2. Determinación de la huella de carbono.....	14
3.9. Huella Hídrica	15
3.9.1. Componentes de huella hídrica	15
3.9.2. Huella Azul	15
3.9.3. Huella Verde	16
3.9.4. Huella Gris	16
3.9.5. Determinación de la huella hídrica	16
3.9.6. Factores influyentes en determinación de huella hídrica	16
3.10. Ecoetiqueta	17
3.11. Área de estudio	17
3.12. Lactuca sativa.....	17

3.12.1.	Características del cultivo	18
3.12.2.	Requerimientos del cultivo	18
3.13.	Producción Mundial	19
3.14.	Producción Nacional	19
4.	MATERIALES Y MÉTODOS	20
4.1.	Materiales	20
4.1.1.	Toma de muestras de agua, suelo, fertilizantes y producto	20
4.1.2.	Fase de laboratorio.....	21
4.1.3.	Análisis físico-químico de suelo y agua	21
4.2.	Métodos.....	22
4.2.1.	Fase de campo	22
4.2.1.1.	<i>Selección de productores</i>	22
4.2.1.2.	<i>Sustentabilidad familiar</i>	23
4.2.1.3.	<i>Toma de muestras de agua, suelos y fertilizantes</i>	23
4.2.2.	Fase de laboratorio.....	24
4.3.	Análisis del ciclo de vida (ACV).....	25
4.3.1.	Diagrama de procesos. Fase agrícola.....	26
4.4.	Metodología de estimación de Huella de Carbono.....	28
4.4.1.	Gases de Efecto Invernadero por combustión en fuente móvil.....	28
4.4.2.	Gases de Efecto Invernadero por emisiones Directas de N ₂ O	30
4.4.3.	Gases de Efecto Invernadero por emisiones Indirectas de N ₂ O	32
4.4.4.	Emisiones por cal.....	34
4.4.5.	Emisiones por el empleo de fertilizantes	35
4.4.6.	Obtención de la Unidad funcional	36
4.5.	Metodología para la estimación de Huella Hídrica	36
4.5.1.	Variables meteorológicas requeridas	36
4.5.2.	Evapotranspiración del cultivo	37
4.5.3.	Datos característicos del cultivo	38
4.5.4.	Requerimiento de agua del cultivo (RAC).....	38
4.5.5.	Rendimiento productivo.....	39
4.5.6.	Estimación de huella hídrica Verde y Azul.....	39
4.5.7.	Estimación de huella hídrica gris	40
4.5.8.	Estimación de huella hídrica en la fase agrícola	41

5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	42
5.1.	Resultados en la fase de campo	42
5.2.	Resultados en la Fase de laboratorio.....	42
5.2.1.	Resultados de parámetros físico-químico del suelo	42
5.2.2.	Resultados físicos-químicos del agua.....	45
5.2.3.	Resultados de análisis bromatológico.....	47
5.2.4.	Resultados de contenido de Bokashi	48
5.2.5.	Resultados de contenido del biol.....	48
5.3.	Resultados sustentabilidad	48
5.4.	Resultados de Huella de Carbono.....	49
5.5.	Resultados de la Huella Hídrica	54
5.6.	Análisis estadístico de los indicadores ambientales	58
5.6.1.	Análisis estadístico de Huella de Carbono.....	58
5.6.2.	Análisis estadístico de Huella Hídrica	60
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	62
6.1.	Conclusiones	62
6.2.	Recomendaciones	64
7.	BIBLIOGRAFÍA	65
8.	ANEXOS.....	76

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Marco Normativo acorde a la pirámide de Kelsen	11
Tabla 2 Materiales empleados en campo para toma de muestras.....	20
Tabla 3 Materiales y equipos empleados en el análisis de suelo y agua.....	21
Tabla 4 Parámetros físico-químicos analizados y sus métodos aplicados	25
Tabla 5 Densidad según el tipo de combustible	29
Tabla 6 Valores Calóricos Netos (VCN)	29
Tabla 7 Factores de emisión por tipo de combustible	29
Tabla 8 Potencial de calentamiento global (GWP).....	29
Tabla 9 Factor de emisión aplicado a fertilizantes	35
Tabla 10 Valores de coeficiente único (kc) para la lechuga	38
Tabla 11 Fertilizantes aplicados en los cultivos convencionales	40
Tabla 12 Parámetro de calidad para descargar en cuerpo receptor	41
Tabla 13 Valores de coeficiente único (kc) para la lechuga	42
Tabla 14 Resultados de parámetros físico-químicos para suelo.....	42
Tabla 15 Resultados de parámetros físico-químicos para suelo.....	43
Tabla 16 Fracciones del suelo	44
Tabla 17 Resultados de parámetros físico-químicos para suelo.....	45
Tabla 18 Resultados de parámetro físicos-químico para las muestras agua	45
Tabla 19 Resultados de parámetro físicos-químico para las muestras de agua.....	46
Tabla 20 Agua para riego	47
Tabla 21 Resultado de análisis de trazas de pesticidas en la muestra de lechuga	47
Tabla 22 Resultado de análisis de Bokashi	48
Tabla 23 Resultado de análisis de los bioles	48
Tabla 24 Resultado de la participación acorde a las dimensiones de la Agroecología	48
Tabla 25 Resultado de emisiones de kg CO _{2eq} por actividad.....	50
Tabla 26 Resultado de huella hídrica en producción Agroecológica	54
Tabla 27 Resultado de huella hídrica en producción Convencional.....	54
Tabla 28 Análisis de la varianza.....	58
Tabla 29 Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)	58
Tabla 30 Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.06412. Error: 0.0008 gl: 4	58
Tabla 31 Análisis de la varianza.....	60

Tabla 32 Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)	60
Tabla 33 Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=21.1841. Error: 87.3231 gl: 4	60

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Flujograma de producción de <i>Lactuca sativa</i> . Cultivo convencional	26
Figura 2. Flujograma de producción de <i>Lactuca sativa</i> . Cultivo agroecológico	27
Figura 3. Grafica de sustentabilidad de la CA y CC	49
Figura 4. Huella de Carbono por parcela	50
Figura 5. Emisiones por actividad de cada productor	51
Figura 6. Huella de carbono en la producción de lechuga	53
Figura 7. Huella Hídrica para sistema agroecológico y convencional	55
Figura 8. Huella Hídrica total por producción de Lechuga en contraste con FAO	57
Figura 9. Huella Hídrica total para la CA y CC	57

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Socialización de la investigación	76
Anexo 2. Identificación de productores de lechuga	76
Anexo 3. Identificación de productores por parroquia	77
Anexo 4. Mapa de Estaciones Meteorológicas	77
Anexo 5. Muestreo de agua	78
Anexo 6. Muestreo de suelo	78
Anexo 7. Muestreo de fertilizantes	79
Anexo 8. Muestreo de producto	79
Anexo 9. Análisis de laboratorio	79
Anexo 10. Visitas a campo	80
Anexo 11. Fertilizantes sintéticos y plaguicidas	80
Anexo 12. Calculo de Huella de Carbono	81
Anexo 13. Datos tabulados	82
Anexo 14. Calculo de Huella Hídrica a través de CROPWAT	82
Anexo 15. Calculo de Huella Hídrica gris	84
Anexo 16. Características del Sistema de Participación Garantizada	85
Anexo 17. Sustentabilidad	86
Anexo 18. Análisis del producto	87

RESUMEN

Los resultados obtenidos a través de la presente investigación constituyen las estimaciones de los indicadores ambientales, Huella de Carbono y Huella Hídrica en los cultivos agroecológicos y convencionales, el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) aplicado permitió conocer el tipo de cultivo más amigable con el ambiente.

La estimación de las huellas, estuvo basado en las actividades desarrolladas en la fase agrícola del cultivo de *Lactuca sativa*, a través del inventario del ACV, mismo que permitió el cálculo de las emisiones emitidas a la atmósfera, a través de las directrices del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) del año 2006, mientras el consumo de recurso hídrico se basó en el manual de la Water Footprint (WFP) de FAO con el uso de CROPWAT 8.0 y hojas de cálculo Excel para ambos indicadores. La calidad de los recursos suelo y agua estuvo determinado mediante los análisis físicos-químicos realizados, así también los análisis del producto determinaron su estado.

Las estimaciones de Huella de Carbono y Huella Hídrica, corresponde a los siguientes valores de 0,10 kg CO₂eq/kg producto y 43 m³/ton en la producción de *Lactuca sativa* en agroecológicos respectivamente para cada huella, de igual manera los resultados para el sistema convencional se obtuvo 0,44 kg CO₂eq/kg de producto y 83 m³/ton, lo que conlleva a que las prácticas convencionales ejercen mayor impacto en el ambiente.

La presente investigación dio a conocer los kg de CO₂eq emitidos a la atmósfera, así como metros cúbicos consumidos para producir lechuga.

ABSTRACT

The results obtained through the present investigation constitute the estimations of the environmental indicators, Carbon Footprint and Water Footprint in the agroecological and conventional crops, the Life Cycle Analysis (LCA) applied allowed to know the most friendly type of crop with the ambient.

The estimation of the footprints was based on the activities developed in the agricultural phase of the cultivation of *Lactuca sativa*, through the inventory of the LCA, which allowed the calculation of the emissions emitted into the atmosphere, through the guidelines of the Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC) of the year 2006, while the consumption of water resources was based on the manual of the Water Footprint (WFP) of FAO with the use of CROPWAT 8.0 and Excel spreadsheets for both indicators. The quality of the soil and water resources was determined by the physical-chemical analysis carried out, as well as the analysis of the product determined its status.

The Carbon Footprint and Water Footprint estimates correspond to the following values of 0.10 kg CO₂eq/kg product and 43 m³ / ton in the production of *Lactuca sativa* in agroecological respectively for each footprint, similarly the results for the conventional system were obtained 0.44 kg/kg product CO₂eq and 83 m³ / ton, which means that conventional practices have a greater impact on the environment. Giving out the kg of CO₂eq emitted into the atmosphere, as well as cubic meters consumed to produce lettuce.

Acrónimos

ACV	Análisis de Ciclo de Vida
AM	Acuerdo Ministerial
AFOLU	Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra
BSI	The British Standards Institution
CA	Cadena Agroecológica
CC	Cadena Convencional
CE	Conductividad eléctrica
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
GEI	Gases de Efecto Invernadero
ha	Hectárea
HC	Huella de Carbono
HH	Huella Hídrica
IPCC	Panel Internacional para el Cambio Climático
PAS 2050	Publicly Available Specification
SPG	Sistema de Participación Garantizada
UPA	Unidades de Producción Agropecuaria

1. INTRODUCCIÓN

La ansiada revolución verde, fue concebida con la idea de combatir el hambre a nivel mundial, aumentando la producción desde los años sesenta, cubriendo mayor extensión de la frontera agrícola, mejorando genéticamente las variedades y la tecnología. Como consecuencia de ello, adicionando el uso excesivo de sustancias sintéticas como agroquímicos y fertilizantes, se presentaron las externalidades ambientales y sociales. Estos impactos socioambientales se presentan como: la erosión, sobrepastoreo, modificación genética y desigualdad social (Barrera, 2011).

En América del Sur, la extracción de agua destinada para la agricultura es de 154 km³/año representada por el 37 %, frente al 5 % y 58 % extraído del centro y norte de América respectivamente (FAO, 2016). Este consumo representa el agua extraída a través de estructuras construidas o instaladas; como, por ejemplo los canales para riego destinados para el sector agrícola. En Ecuador, alrededor de un 80 % del recurso hídrico es destinado para uso agrícola (CEPAL, 2012). En el Informe sobre el Estado del Ambiente en el Ecuador, atribuyen al agua y al sector agrícola de vital importancia, reportando un 40 % del total de productos prioritarios exportados como banano, cacao, flores, hortalizas y frutas, de tal manera que el riego se vuelve sustancial para el desarrollo local y nacional (FLACSO, MAE, & PNUMA, 2008). Así también recalca un problema social pues abre camino a la desigualdad ya que no todos tienen el acceso al agua y la infraestructura para ser competitivos ante un mercado, además de la polución del recurso hídrico por el uso de agroquímicos empleados en los cultivos, de tal manera que la agricultura es la fuente de mayor contaminación del agua (FAO, 2015).

Por las actividades de los humanos desde el año 1750, los Gases de Efecto Invernadero (GEI) incluyen a los principales como es: el metano (CH_4), seguido del dióxido de carbono (CO_2) y el óxido de nitrógeno (N_2O) entre los principales, han aumentado con valores que alcanzan el 40 % para CO_2 , 150 % de CH_4 y el 20 % de N_2O (IPCC, 2013). El aumento de estas concentraciones alcanzó una tasa media en diez años de observación, detonando que el CH_4 , a causa de fenómenos como del Niño, acrecienta su concentración. El CO_2 contribuyó con un 82 % a la diferencia entre la energía absorbida e irradiada entre el planeta y el espacio, denominado forzamiento radioactivo, mientras el N_2O es considerado como la fuente de rápido crecimiento, ya que los suelos están liberando este gas, causado por el uso de fertilizantes en la producción agrícola (OMM, 2018). En Ecuador, el aporte de emisiones de GEI es para el sector agrícola con un valor del 18,17 % (MAE, 2017). Es claro notar que los procesos que conlleva la producción agrícola tienden al consumo de energía, ya sea eléctrica o a combustión en el uso de maquinaria agrícola, además de materiales o insumos que directa o indirectamente contribuyen al aumento de los GEI para este sector, tal es el caso de fertilizantes necesarios en el desarrollo de cultivos.

El sistema agrícola se enfoca de dos maneras: la agricultura sostenible y la agricultura convencional. El primer sistema se plantea como la solución a los años desmedidos de prácticas insostenibles arraigadas al capitalismo, siendo la agricultura familiar campesina la de menor producción, tomando la agroecología una dirección para beneficio de la agricultura familiar y el ambiente. Mientras el modelo convencional, se ha enfocado a una mayor producción y rentabilidad, tomando el control de productos de consumo masivo, tornándose crítico por el uso excesivo de insumos químicos que afectan a los recursos naturales y a la salud (Ortega, 2009).

Para el siglo XXI, se presenta una revolución agrícola que va a la par con los Objetivos de Desarrollo Sostenible encaminados a disminuir la generación de gases y este a su vez al cambio del clima, consumo de agua, sobreexplotación de tierras y fomentar la responsabilidad compartida entre el productor y consumidor. Barrera (2011), se refiere a una revolución de conocimiento y alimentación basada en indicadores ambientales que permiten estimar productos agrícolas por terreno, recurso hídrico y emisiones, teniendo conciencia de los recursos naturales y su entorno. Actualmente, el consumo de productos agrícolas, libres de elementos sintéticos, está en aumento. Esto se debe al cambio de hábitos en la alimentación diaria por su relación directa con el cuidado de la salud del consumidor. Denotando que los productos provenientes de sistemas agrícolas intensivos, utilizan agroquímicos por lo que tienden a ser sistemas no sustentables (Andrade & Flores, 2008).

Con ello, los cambios permiten nuevos inicios, el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) de un producto es de importancia para conocer los impactos que se generan al evaluar la cadena de producción, además permite exponer alternativas de solución y mejora. Dicho; análisis, resalta las externalidades que se dan al generar un bien o servicio. El ACV es la guía que permite evaluar la Huella Hídrica y Huella de Carbono, es decir el consumo de agua y energía de un producto (Romero, 2003).

El propósito de la presente investigación, se fundamenta en realizar una comparación entre dos sistemas agroalimentarios, basado en la hipótesis que la agricultura convencional genera mayor impacto hacia al ambiente en contraste de la agroecología de la *Lactuca sativa*, en la fase agrícola, a fin de determinar los kilogramos de CO₂eq emitidos a la atmosfera por kilogramos de lechuga; así también

la cantidad de agua empleada para producir un kilogramo de lechuga para ambos sistemas.

Finalmente, los valores calculados en la fase agrícola de *Lactuca sativa* de los sistemas, permitirán generar datos que sustenten la realidad de la canasta básica local y respaldar al Sello de Participación Garantizada (SPG) para fomentar una red de confianza y comercialización productor-consumidor, además de impulsar investigaciones en cuanto al ACV de alimentos de consumo diario y de interés nacional. Permitiendo la reestructuración de un modelo justo y equitativo, donde todos sean parte de una producción y consumo consiente de su proceso, calidad y de la trazabilidad que conlleva la elaboración del mismo.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Estimar los impactos ambientales basados en el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) de la cadena agroalimentaria convencional y agroecológica de la lechuga (*Lactuca sativa*) en el cantón Cayambe.

2.2. Objetivos específicos

Estimar la cantidad de CO₂ equivalente a la atmosfera por kilogramo de lechuga a través del indicador Huella de Carbono

Estimar la cantidad de agua requerida por kilogramo de producto de lechuga a través del indicador Huella Hídrica.

Comparar los resultados que evidencien los posibles beneficios en los aspectos social, económico y ambiental de ambas producciones agrícolas destacando la más positiva y eficiente.

3. MARCO TEÓRICO

Este capítulo comprende toda la información en relación al tema, a fin de entender la importancia del presente trabajo.

3.1. Sistemas agroalimentarios

El sistema agroalimentario abarca productos agropecuarios partiendo de su producción hasta la alimentación humana, cuyo dinamismo se relaciona con la sociedad, política, economía y geografía (Terán, 2013). Por ello, es esencial conocer su funcionamiento y las etapas que conforman esta cadena, desde producción hasta la mano del consumidor, fortaleciendo el concepto de sistema agroalimentario.

3.1.1. Agricultura convencional

La agricultura convencional se muestra como un sistema no sustentable, pues desarrolla sus actividades en un aparente; de disponibilidad abundante de recurso hídrico y energía a bajo costo con el supuesto que el clima se mantendría estable a lo largo del tiempo (Altieri & Nicholls, 2012). Además, por las actividades que implica su producción, como es el consumo excesivo del recurso hídrico y aplicación de insumos sintéticos al suelo para la preservación de los cultivos, abriendo camino al consumo de alimentos agrícolas basados en la producción y rentabilidad por el uso intensivo de agroquímicos que afectan no solo al entorno natural sino a la salud. Este sistema agrícola está basado en dos caminos como son; maximizar la elaboración de productos y mayor ganancia, estas actividades incurren en consecuencias que afectan a corto, mediano y largo plazo a los agroecosistemas (Gliessman, Engles, & Krieger, 1998). Sus prácticas condicionan este sistema como

es la labranza intensiva que degrada el suelo, monocultivos extendidos por demanda, el consumo descomunal de agua para riego, aplicación de fertilizantes y agroquímicos que evitan afectaciones al desarrollo de los cultivos y la modificación genética vegetal para una producción rentable.

Las prácticas de la agricultura intensiva, tienden a elevar costos, volviéndose inalcanzable para una parte de agricultores, por ende generan las brechas sociales; además el apoyo económico por parte de organismos nacionales e internacionales es escaso (Pelchor, 2017). Esta división social, permite a unos, una mayor cobertura de la demanda de productos y a otros, escasas de comercialización, aumentando el problema de inequidad, alejándonos de la autosuficiencia alimentaria y conseguir la tan ansiada soberanía alimentaria.

Evitan pérdidas económicas mediante la aplicación y uso excesivo de plaguicidas en sus cultivos, generando riesgos para la salud por su toxicidad de forma directa o indirecta. En este contexto el Organismo Mundial de la Salud (2016), menciona que el cáncer, así como problemas en el sistema reproductivo, nervioso o inmunitario, son resultado de los efectos ocasionados por el contacto con químicos peligrosos.

La contaminación no es estática y cada recurso natural ha sido afectado de diferente manera por ejemplo el suelo por la erosión, agua por la lixiviación o infiltración que puede existir por el uso de agroquímicos en el suelo; además del consumo desmesurado utilizado en la irrigación. El aire por la volatilización de elementos sintéticos en el proceso de fumigación, paisaje por la fragmentación, pérdida de bosques, quema, remoción de tierra y cobertura vegetal, todo esto asociado a la expansión agrícola; ejercen presión sobre los recursos naturales y a su

vez, pueden llegar a exponer la salud de animales y seres humanos por la trazabilidad, sea en el alimento, agua, suelo y aire.

La contaminación ambiental, está incluida en esta producción, resumiéndose en “cultivar con petróleo”, pues la intensidad energética que utiliza es de alta demanda por usar maquinaria y también por el uso de energía que se requiere para producir fertilizantes, plaguicidas y agroquímicos en general (Pérez, 2007). Este consumo energético es parte de la fase agrícola por lo que se requiere de combustible fósil para la movilización de máquinas agrícolas, así también como parte de la distribución y comercialización del producto, intensificando la explotación y transformación de los recursos no renovables.

FAO (2014), en el reporte de Emisiones provenientes de la Agricultura, Silvicultura y otros usos que se le da al suelo sea por fuentes o sumideros, menciona que las toneladas de CO₂ eq/año están en los 5 000 millones; provienen de sectores dedicados a la agricultura y ganadería. La agricultura intensiva contribuye al cambio climático, debido a las emisiones agrícolas generadas por la quema de combustible fósil de maquinaria agrícola superando los 785 millones de toneladas de CO₂ en el 2010, mismas que han aumentado en un 75 % desde los noventa, 725 millones de toneladas de CO₂eq se producen mediante la aplicación de abonos sintéticos, siendo esta una fuente en aumento de emisiones dentro de la agricultura y la mayor fuente de emisión causada por la digestión del ganado. Por esto, es necesario conocer el tipo de emisiones para otorgar respuestas adecuadas para la mitigación y es así que el presente estudio estima las emisiones de CO₂eq generadas al igual que volumen en metros cúbicos consumidos por el cultivo transitorio en la fase agrícola.

3.1.2. Agroecología

Actualmente, se presenta un cambio de paradigma entre la revolución verde y la nueva revolución agrícola, la primera enfocada en aumentar el rendimiento y resistencia de los cultivos, guiada por la oferta y demanda de ciertos cultivos, centrada en modificaciones genéticas vegetales, aumento de insumos químicos y demanda de energía. Al contrario, la nueva revolución vislumbra altos rendimientos con estabilidad en los sistemas productivos con el uso sostenible del recurso natural, guiada por la innovación y variedad de cultivos, centrada en la importancia de la biodiversidad y aplicación de buenas prácticas agrícolas (Barrera, 2011).

Es importante entender esta nueva revolución agrícola ya que busca una solución a la influencia que tiene la Revolución Verde. Este tipo de enfoque llevada a la realidad es la agroecología; pues su ideología está encaminada a prácticas agrícolas amigables con el ambiente, además de conservar la biota y a biota, permitiendo la independencia de insumos sintéticos y energéticos (Altierl & Toledo, 2011). De tal manera que; la agroecología comprende conocimiento académico y científico, poniendo en práctica un conjunto de ciencias como es la agronomía, ecología, sociología y entre otras, permitiendo la conservación de la biodiversidad (Sarandón & Flores, 2014).

Los principios de la agroecología son las dimensiones medioambiental, social, cultural, económica y política, que ayudan a fomentar la autosuficiencia, además de proporcionar un ambiente sano, seguro y variedad de alimentos primero a los agricultores, luego a los consumidores. Al ser una lucha por la equidad social, debe ir de la mano con el contingente de las mujeres, pues es el género que predomina en este activismo, resalta la cultura, tradición y conocimiento ancestrales

de las comunidades. Geográficamente, este sistema productivo impulsa la economía local, de tal manera que hay un contacto directo entre productores y consumidores desarrollando una estructura de corresponsabilidad social (CIDSE, 2018).

3.2. Cadena agroalimentaria

Las cadenas agroalimentarias comprenden las diferentes etapas de la producción agropecuaria, cuyos procesos cubren la producción primaria, transformación, comercialización, distribución y consumo, donde cada etapa puede variar a tal punto de ser más eficiente para reducir el consumo energético (FAO, 2019b). Estas cadenas, permiten las relaciones campo-ciudad a fin de comercializar productos que van directo del campo a la mesa del consumidor.

3.3. Soberanía Alimentaria

La soberanía alimentaria es un derecho que las personas, pueblos, comunidades y nacionalidades tienen para el libre acceso a alimentos sanos, nutritivos, culturalmente adecuados y producidos de forma sustentable con el ambiente, además de elegir su sistema agroalimentario (Foro Mundial por la Soberanía Alimentaria, 2007). Extendiéndose más allá de la producción por el propósito de conservar ecosistemas que generen sustentabilidad en su actividad productiva (Altieri, 1999).

En Ecuador por la implementación de ley correspondiente a la Soberanía Alimentaria, menciona el brindar apoyo a la bioeconomía de bienes y servicios sustentables proveniente de organizaciones campesinas. Esta ley otorga poder a la agroecología para respaldar la soberanía alimentaria en el país.

3.4. Normativa de fortalecimiento

La tabla 1, resume el Marco Normativo en relación a la Agroecología y fomento de la Soberanía Alimentaria.

Tabla 1 Marco Normativo acorde a la pirámide de Kelsen

Marco Normativo	Artículo principal	Fuente
Constitución del Ecuador	En el Régimen del Desarrollo, la Soberanía Alimentaria es un fin estratégico ya que el Estado es quien garantiza que los ecuatorianos logren producir su propio alimento.	(Constitución del Ecuador, 2008)
Cumbre Mundial sobre la Alimentación -1996	La seguridad de los alimentos se enfoca en una ecología responsable y socialmente equitativo aplicado al desarrollo agrícola.	(FAO, 1996)
Foro Mundial sobre Soberanía Alimentaria. Cuba, 2001	Enfocada en el derechos de las personas a producir sus propios alimentos.	(foro Mundial sobre soberanía alimentaria, 2001)
Foro Mundial de Reforma Agraria 2004	Enfoca el desarrollo de agricultura ligado a las necesidades alimentarias y cuidado del ambiente	(Roa, 2004)
Foro Mundial por la Soberanía Alimentaria. Nyéléni, 2007	La agricultura familiar es prioridad para el desarrollo de la economía y es afín a la soberanía alimentaria.	(Foro Mundial por la Soberanía Alimentaria, 2007)
Cumbre Mundial sobre la Seguridad Alimentaria	Afrontar el cambio climático con especial atención a los pequeños agricultores, afín a la agricultura y la seguridad alimentaria	(Cumbre Mundial sobre la Seguridad Alimentaria, 2009)
Ley Orgánica de Régimen de la Soberanía Alimentaria	Destinada al sistema agroalimentario, con la finalidad de fomentar la bioeconomía local para el consumo de alimentos que no impliquen afecciones a los seres vivos.	(LORSA, 2010)
Ordenanza para fomentar la Producción de Alimentos Agroecológicos en la provincia de Pichincha GDPP (2012)	Promueve el desarrollo de sistemas agroalimentarios sustentables, basados en la agroecología, desde la producción hasta la comercialización. Fomentado la agricultura familiar con capacitación técnica y económica, además acredita la producción agroecológica.	(GDPP, 2012)
Regulación del Uso del Espacio Público para la Comercialización de productos sanos en Ferias Agroecológicas(GADIP, 2018)	Fomenta e implementa espacios de comercialización. Garantiza productos agroecológicos en el territorio, con incentivos desarrollando la economía local, fomentando la relación productor-consumidor.	(GADIP, 2018)

Elaborado por: Loachamín, E., 2019

3.5. Sistema participativo de garantía

A nivel nacional, el Sistema Participativo de Garantías, certifica a aquellos productos que resulten de la práctica agroecológica, a través de elementos de control, desarrollados por los mismos agricultores de las organizaciones (HEIFER & MAG, 2014). Esta certificación no es costosa y se presenta como una ecoetiqueta campesina alineada a los principios de agroecología, con visión compartida cuya base es la relación y confianza entre el productor y consumidor. Además, fomenta la transferencia de saberes, preparándolas para ser promotoras y veedoras de la agroecología.

La agricultura verde muestra un sistema empático que permite ir a la par con la producción, la conservación del ambiente y fomento de la agricultura familiar. Esta práctica implica claramente tres ámbitos como son: social, económico y ambiental, evidenciándose que esta actividad permite contribuir de manera positiva en el ámbito socioeconómico por ser rentable y aceptable por los productores y consumidores, acaparando la atención de todos a ser partícipes (Koohafkan, Altieri, & Holt, 2012).

3.5.1. Dimensiones de la agroecología

Las dimensiones en la que trabaja y se desarrolla el SPG de acuerdo a SEDAL, 2018:

- Política cual está valorada en 10 puntos, refiriéndose a la incidencia de la mujer en la organización y lo que conlleve;
- Social valorada en 10 puntos como son el compartir los saberes, trabajo en conjunto, entre otros;

- Cultural valorada en 5 puntos practicas o procesos a fin de salvaguardar semillas,
- Ecológica es la de mayor valor con 55 puntos, enfocada en actividades de desarrollo y conservación de agroecosistemas
- Económica valorada en 20 puntos con temas sobre el manejo de económico de su parcela, venta, alimentación, etcétera

3.6. Análisis de ciclo de vida

La conceptualización de ACV, se entiende como un método que permite la compilación de documentación, así también la evaluación de la materia prima que ingresa en el proceso como la que sale, incluyendo los impactos generados al ambiente a lo largo de cada proceso de la cadena productiva (ISO 14040, 2006). Este método identifica, cuantifica y caracteriza, la materia prima utilizada, energía consumida y los impactos ambientales producidos; estos en el procesamiento del producto (Romero, 2003). Una vez desarrollada y aplicada esta herramienta permite tomar decisiones encaminadas a ejercer menos presión en los recursos naturales y su conservación.

3.7. Indicadores Ambientales

La sostenibilidad se plantea como un proceso ligado a las actividades del pasado como es el consumo de agua y las emisiones generadas calculadas como Huella Hídrica y Huella de Carbono que sirven de indicadores ambientales por la vinculación entre la generación actual y las futuras (OECD, 2008). Dichos indicadores ambientales, se extienden más allá de un parámetro; son un indicador del estado ambiental; mismo que permite valorarlo y aplicar las medidas necesarias para su protección (Ministerio del Ambiente, 2012).

3.8. Huella de Carbono

La Fundación Observatorio Español de Acuicultura FOESA (2013), define a la HC como un indicador ambiental por la cuantificación de emisiones de CO₂eq liberadas a la atmosfera por los procesos que conlleva generar un bien o servicio. El indicador de huella de carbono expresado en kilogramos o toneladas de CO₂ equivalentes permitirá estimar las emisiones generadas por el producto hortícola de la lechuga en la fase agrícola.

3.8.1. Cambio climático

En la Convención realizada por las Naciones Unidas en relación al Cambio Climático; define al cambio climático como disturbio que influye en clima, sea de manera directa o indirecta por actividades antropogénica que implican alteraciones en la atmósfera. Tornándose en un cambio acelerado en comparación a periodos de tiempos atrás (CMNUCC, 1992). Ciertamente cada actividad genera un impacto en el ambiente, por ello el aumento de estas actividades implica el aumento de las concentraciones en la atmósfera mundial; constituida por los principales gases; dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxidos de nitrógeno (NO_x).

3.8.2. Determinación de la huella de carbono

Para la estimación de HC en alimentos, se aplica Publicly Available Specification (PAS 2050), metodología reconocida para este tipo de actividad, además de utilizar los mecanismos de cuantificación del Panel Internacional para el Cambio Climático [IPCC], recopilando la información necesaria acerca del consumo de materia y energía de un producto que se convierten en emisiones emitidas a la atmosfera (FOESA, 2013).

El consumo de energía se traduce en emisiones que; para su cálculo se aplicará las Directrices del año 2006 del IPCC, mismo que permiten formular los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. El Volumen 2 Energía y Volumen 4 Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra (AFOLU), establecen tres métodos de nivel que permiten calcular las emisiones. En la presente investigación se trabaja con el Nivel 1 por la disponibilidad de valores necesarios para estimar la huella de carbono.

3.9. Huella Hídrica

La huella hídrica, es el agua dulce aprovechada para los diversos usos que le dé el hombre ya sea por su consumo o contaminación (Water Footprint, 2018). Con este indicador, se puede calcular el consumo de agua para generar un bien o servicio, lo que conlleva en la agricultura a todo el suministro de recursos hídrico utilizado para un cultivo. En el presente estudio se empleará este indicador para la fase agrícola en la producción de lechuga agroecológica y convencional.

3.9.1. Componentes de huella hídrica

Para fines agrícolas se consume 70 % del agua como apropiación de la humanidad en el mundo (Banco Mundial, 2018). La agricultura es el sector de mayor consumo de agua y, los productos que involucran en su sistema de producción a menudo tienen una huella hídrica significativa, causado por el regadío en cultivos y siendo aun mayor por la evapotranspiración de las plantas. Este cálculo trata de valorar la huella hídrica del proceso de la producción de la lechuga. El método es aplicable a los cultivos anuales y a los perennes.

3.9.2. Huella Azul

Esta huella concierne al consumo de agua dulce sea esta superficial o subterránea. De tal manera que el consumo se traduce en pérdida de agua de estos

cuerpos y es evaporada en la cadena de producción o se incorpora en el producto (Hoektra *et al*, 2011).

3.9.3. Huella Verde

Esta huella corresponde al consumo de agua proveniente de la lluvia y es incorporándose en productos agrícolas (Hoektra *et al*, 2011).

3.9.4. Huella Gris

Esta huella corresponde al volumen de agua contaminada y se traduce en el agua requerida para equiparar con la carga contaminante a fin de que cumpla con las concentraciones normales o reguladas de calidad de agua (Hoektra *et al*, 2011).

3.9.5. Determinación de la huella hídrica

Para la estimación de huella hídrica en un cultivo se aplica el Manual de Evaluación de la Huella Hídrica, metodología reconocida por la Water Footprint, además de utilizar el programa CROPWAT de la FAO, el cual calcula las necesidades hídricas con apoyo de datos del suelo, clima y cultivo que determinará valores necesarios como la evapotranspiración y el volumen de agua incorporado en el cultivo, parámetros que nos permiten resultados cercanos a la realidad (Hoektra *et al*, 2011).

3.9.6. Factores influyentes en determinación de huella hídrica

Evapotranspiración (ET), es el accionar simultáneo entre la evaporación y transpiración. La evaporación es el paso del agua en estado líquido a vapor de todas las superficies, mientras la transpiración ocurre solo en las plantas por la evaporación del agua presente en tejidos en estado líquido. En la siembra el 100 % de ET se evapora y avanzada la siembra hay mayor cobertura vegetal por ello el 90 % de la ET se da como transpiración (Allen, Pereira, Raes, & Smith, 2006). Los factores de interés en la ET de un cultivo son; el clima por el desarrollo del cultivo, consumo de agua por la

variedad de cultivos, las fases y ciclos vegetativos, pues su crecimiento dependerá del lugar.

El requerimiento de agua para cultivo (RAC), es el consumo de precipitación efectiva, permitiendo cubrir la necesidad de transpiración, almacenar agua en el suelo y esta pueda ser consumida en épocas de escases, definiéndolo así FAO, Frenken & Gillet (como se cita en Sandoval, 2017).

3.10. Ecoetiqueta

Las ecoetiquetas certifican productos que provoquen menos impactos al ambiente (Alier & Roca, 2001). Es un mecanismo de información que da a conocer las prácticas sostenibles para la generación de un producto, garantizando el uso adecuado de los recursos renovables y no renovables.

3.11. Área de estudio

El desarrollo del proyecto será en localidades pertenecientes a la provincia de Pichincha, en las parroquias del cantón Cayambe como son: Ayora, Pingulmi, Juan Montalvo y Cusubamba. En el cantón la Producción Económicamente Activa (PEA) es del 59,6 % lo que representa el 3.2 % del PEA en la provincia. Su principal actividad involucra a la agricultura con 47,7 % (Sistema Nacional de Información, 2014).

3.12. Lactuca sativa

Lactuca sativa es una planta herbácea y transitoria, comúnmente conocida como lechuga, debido a su fácil manejo y adaptación, su producción es a nivel mundial (EIRS, 2018). Aún no está claro su origen, pero se estima que esta entra Asia Menor y la cuenca del Mediterráneo Vavilov (como se cita en Saavedra, 2017). Es uno de los alimentos bajos en calorías, debido al gran contenido de agua, consolidándose como un alimento saludable y es pieza fundamental en el arte culinario.

Sobrero & Ronco (2004), en su ensayo de toxicidad con *Lactuca sativa*, no se plantea como indicador ambiental, pero permite obtener información al relacionar contaminantes con los efectos que sufren comunidades vegetales en los límites de cuerpos hídricos contaminados, su interés recae por su producción hortícola debido a su ciclo corto, permitiendo desarrollar pruebas de toxicidad en poco tiempo.

3.12.1. Características del cultivo

InfoAgro (2018), menciona las características de la lechuga son: la profundidad de la raíz no debe superar los 25 cm, sus hojas pueden ser en roseta o repollo, el tallo es cilíndrico y ramificado, la inflorescencia consiste en racimos. Además de sus variedades como:

- Romanas, no forman cogollo con hojas oblongas más largas que anchas
- Acogolladas, forma cogollo con hojas apretadas
- De hoja sueltas, con hojas dispersas
- Lechuga esparrago, se aprovecha su tallo, con hojas largas y puntiagudas

3.12.2. Requerimientos del cultivo

Los requerimientos necesarios ODEPA (como se cita en CIREN, 2017) menciona los aspectos climáticos para el desarrollo de la lechuga como; tolerante a las heladas, etapa más sensible es en la cosecha, temperatura base de 6 °C para su crecimiento. Temperaturas óptimas entre -8 a 14 °C, máxima temperatura 30°C. En cuanto a suelo requiere un pH entre 6,6 – 7.3, una conductividad de 1,3 dS/m, alto contenido de materia orgánica y textura franca.

3.13. Producción Mundial

Datos emitidos por FAO en 2011, muestran que en el mundo los mayores productores de Lechuga fueron China y Estados Unidos con 13 430 000 y 4 070 780 toneladas respectivamente, tras ellos están India, España, Irán, Japón, México e Italia. En Sudamérica, la mayor producción de lechuga proviene de México y Chile con 370.066 y 101 559 toneladas respectivamente (Jaramillo, Aguilar, Tamayo, Arguello, & Guzmán, 2016)

3.14. Producción Nacional

En Ecuador, al pasar de los años las hortalizas han aumentado su producción. La producción de lechugas para el año 2016 fue 16886 toneladas mientras para el 2017 aumento a 17301 toneladas (FAOSTAT, 2018). En el año 2000 se llevó a cabo el tercer Censo Nacional Agropecuario la lechuga cubrió 4739 unidades de producción agropecuaria (UPA), con siembras que cubrían 1278 ha y una cosecha de 1227 por ha, la variedad de producción es lechuga de repollo (INEC, 2002). El consumo de lechugas como ensalada en el país es a diario, pues basta visitar las redes de comercialización donde las ofertan como son mercados y bioferias, a pesar de no ser autóctona, son parte de la alimentación de muchos ecuatorianos por su diversidad de colores, formas y sabor.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente capítulo, detalla los materiales y equipos utilizados, además del método aplicado para estimar los impactos ambientales de la cadena agroalimentaria convencional y agroecológica en el cantón Cayambe.

4.1. Materiales

4.1.1. Toma de muestras de agua, suelo, fertilizantes y producto

La tabla 2, muestra los materiales y equipos empleados para la toma de muestras en campo.

Tabla 2 *Materiales empleados en campo para toma de muestras.*

<i>Muestreo</i>	<i>Materiales</i>	<i>Equipos</i>
Suelo	• Barreno	GPS Garmín
	• Balde 20 lt	Cámara fotográfica
	• Cinta métrica	
	• Fundas Ziploc > 1kg	
	• Agua destilada	
	• Etiquetas	
	• Lona	
	• Cooler con hielo	
Agua	• Balde 20 lt	GPS Garmín
	• Soga	Cámara fotográfica
	• Botellas de polietileno 1tl limpias	Cronometro
	• Agua destilada	
	• Etiquetas	
	• Esfera	
	• Lona	
	• Cooler con hielo	
Fertilizantes líquidos	• Embudo	Cámara fotográfica
	• Botella de polietileno de 1tl	
	• lona	
Fertilizantes sólidos	• Cooler con hielo	Cámara fotográfica
	• Fudas ziploc > 1kg	
	• Cooler con hielo	
Producto	• Fundas Ziploc > 1kg	Cámara fotográfica

Elaborado por: Loachamín, E., 2018.

4.1.2. Fase de laboratorio

En los laboratorios de la Universidad Politécnica Salesiana con sede en Cayambe, se realizaron lo análisis de agua y suelo, comprendido entre los meses correspondiente a agosto y noviembre del año 2018. Los análisis de fertilizantes y producto se realizaron en LABOLAB Cía. Ltda, laboratorio acreditado por el Servicio de Acreditación ecuatoriano SAE. Ver Anexo 18

4.1.3. Análisis físico-químico de suelo y agua

A continuación, en la tabla 3 se presentan los materiales, reactivos y equipos empleados para el análisis de muestras de suelo y agua.

Tabla 3 *Materiales y equipos empleados en el análisis de suelo y agua.*

<i>Parámetro físico-químico</i>	<i>Materiales</i>	<i>Reactivos</i>	<i>Equipos</i>
Agua			
pH y conductividad	<ul style="list-style-type: none"> • Muestras de agua • Vasos plásticos 2 onz 	Agua destilada	pH-metro Conductivimetro
Turbiedad	<ul style="list-style-type: none"> • Muestra de agua 	blancos	Turbidimetro
Suelo			
pH y conductividad	<ul style="list-style-type: none"> • Muestra de suelo fino • Vasos plásticos 2 onz • espátula 	Agua destilada	pH-metro Conductivimetro
textura	<ul style="list-style-type: none"> • Tamices #2 y #0,5 • Muestra de suelo gruesa • Tarrinas • Pipetas Robinson • Hidrómetro 	Metafosfato de sodio	Balanza analítica
Materia orgánica Nitrógeno total	<ul style="list-style-type: none"> • Muestra de suelo fino • Balones volumétricos • Pipetas • Vasos de precipitación 250 ml • Vasos de plásticos 2 onz • Soporte universal 	Dicromato de potasio Ácido sulfúrico Ácido fosfórico Agua Yoduro de potasio Almidón	Balanza analítica

Elaborado por: Loachamín, E., 2018.

4.2. Métodos

La investigación aplicada corresponde a la descriptiva, permite conocer las prácticas agrícolas aplicadas en los cultivos convencionales y agroecológicos. La recolección de datos e información permitió identificar las relaciones existentes entre estos cultivos.

En este estudio se estiman las huellas de carbono y huellas hídricas, asociado a los cultivos de tipo convencional y agroecológico de lechuga. Se estudiaron seis sistemas de cultivo representativo de cada sistema.

4.2.1. Fase de campo

4.2.1.1. Selección de productores

Determinada la zona de estudio para la obtención de resultados óptimos, la muestra para cadena agroalimentaria agroecológica fue seleccionada completamente aleatoria. La organización BioVida permitió seleccionar de 65 miembros, a las personas, chacras y localidad perteneciente a Cayambe, que cultivan el producto en las fechas correspondientes al estudio, mismas que cuentan con un carnet amarillo y verde conforme, a la evaluación de indicadores agroecológicos del SPG ya que es la única organización agroecológica a diferencia de otras que están iniciando o en transición, llegando al conceso de trabajar con tres miembros. Ver Anexo 2

Por consiguiente, para la muestra la cadena agroalimentaria convencional se seleccionó la muestra completamente aleatoria tomando en cuenta las parroquias urbanas y rurales por la dificultad de encontrar sistemas convencionales en Cayambe, esto se debe a que el cantón junto a Biovida son los pioneros en desarrollar y aplicar el SPG, a tal punto que existen varias organizaciones que acoge la Asociación Regional

de Soberanía Alimentaria del Territorio Kayambi (RESAK), que han cambiado desde años atrás las prácticas convencionales por las agroecológicas, sumando más productores a este movimiento. Por ello los productores convencionales son de las localidades de Juan Montalvo parroquia urbana y de la parroquia rural Cusubamba, cuya actividad también es la agricultura. Ver Anexo 3

Una vez identificados a los productores, se realizaron visitas de campo a los cultivos de *Lactuca sativa* de las dos cadenas agroalimentarias denominados en adelante Cadena Convencional (CC) y Cadena Agroecológica (CA), se llevó el seguimiento de actividades de producción, recopilando información visual y estructurada como entrevistas, encuestas y cuestionarios que permitieron obtener datos específicos para realizar los inventarios correspondientes al ACV para determinar HH y HC. Ver Anexo 1

4.2.1.2.Sustentabilidad familiar

Las visitas a campo permitieron valorar las dimensiones de la agroecología, por ende la sostenibilidad de cada agricultor, basado en observación directa, testimonios, perspectivas actuales y futuras de los agricultores. Muñoz & Méndez (2017), recopila las dimensiones del sistema Participativo de Garantía Local de la Red BIOVIDA, los mismo que fueron evaluados en los agricultores convencionales. Ver Anexo 7

4.2.1.3.Toma de muestras de agua, suelos y fertilizantes

La metodología base para el muestreo de agua, es la establecida por el laboratorio de suelos y agua perteneciente a la Universidad Politécnica Salesiana con sede en Cayambe, en su Manual, Calidad del Agua de Consumo Humano y Sistema

de Muestreo , el cual abarca los lineamientos para esta actividad (Contero, Cachipundo, & Gualavisí, 2011). Para respaldar los lineamientos se verifico con la Norma Técnica Ecuatoriana de Muestreo para agua (NTE INEN 2226, 2000), se tomó 1lt de muestra por productor, aplicando muestreo simples y compuestos dependiendo de las fuentes como es manguera, canal de riego y reservorio. Anexo 6

El muestreo para suelo, se aplicó la metodología dada por la Agencia de Aseguramiento de la Calidad del Agro (AGROCALIDAD, 2015a), cuyo instructivo establece los pasos de toma de muestras en suelo. Se planifico los puntos a muestrear, generando una muestra compuesta y tomando 1kg de suelo por productor. Anexo 5

Para la toma de muestras de fertilizantes se aplicó el Instructivo de toma de muestras de fertilizantes (AGROCALIDAD, 2015b), para fertilizantes solidos como el bokashi, se tomó una muestra de 1kg, mientras para los líquidos como es el biol se tomó 1lt. Ver Anexo 6

Finalmente para el muestreo del producto para análisis en alimento, se aplicó el Instructivo de toma de Muestras para Análisis Bromatológicos (AGROCALIDAD, 2016). Se procedió a tomar la muestra de producto al azar y colocarle en una funda ziploc con un mínimo peso de 1kg. Ver Anexo 7

4.2.2.Fase de laboratorio

La información de la Tabla 4, representa los parámetros analizados y métodos aplicados en el laboratorio UPS-Cayambe. Ver Anexo 9

Tabla 4 *Parámetros físico-químicos analizados y sus métodos aplicados*

<i>Parámetro físico-químico</i>	<i>Método</i>	<i>Fuente</i>
Agua		
pH y conductividad	Potenciómetro	(HACH COMPANY, 2000)
Turbiedad	Conductímetro	
	Turbiedad por nefelometría	(Carpio, 2007)
Suelo		
pH y conductividad	pHmetro	(Carrillo, 1985)
textura	Conductímetro	
Materia orgánica	Bouyocos	
Nitrógeno total	Walkley y Black	
	Kjeldahl	

Elaborado por: Loachamín, E., 2018.

4.3. Análisis del ciclo de vida (ACV)

El estudio implicó establecer el objetivo, las aplicaciones, propósito y motivaciones que llevaron a elaborarlo. Para la definición del alcance se describió el sistema del producto en estudio. Para el ACV, se realizó la recolección de los datos para cuantificar las aportaciones pertinentes, de entradas y salidas de cada actividad incluida en la fase agrícola. Ver Anexo 10 y 15

4.3.1. Diagrama de procesos. Fase agrícola

Flujograma Cultivo Convencional

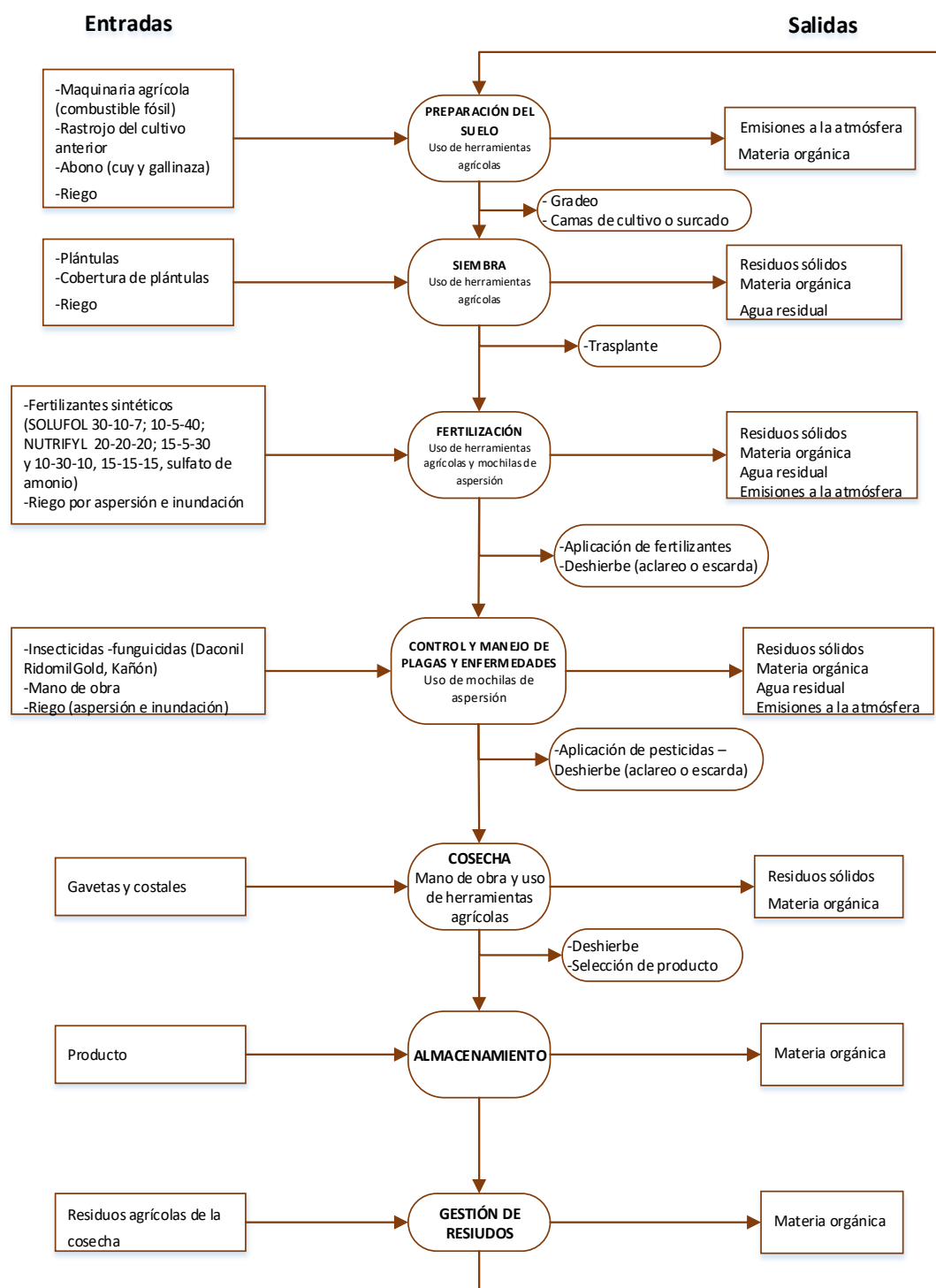


Figura 1. Flujograma de producción de *Lactuca sativa*. Cultivo convencional
Elaborado por: Loachamín, E., 2018.

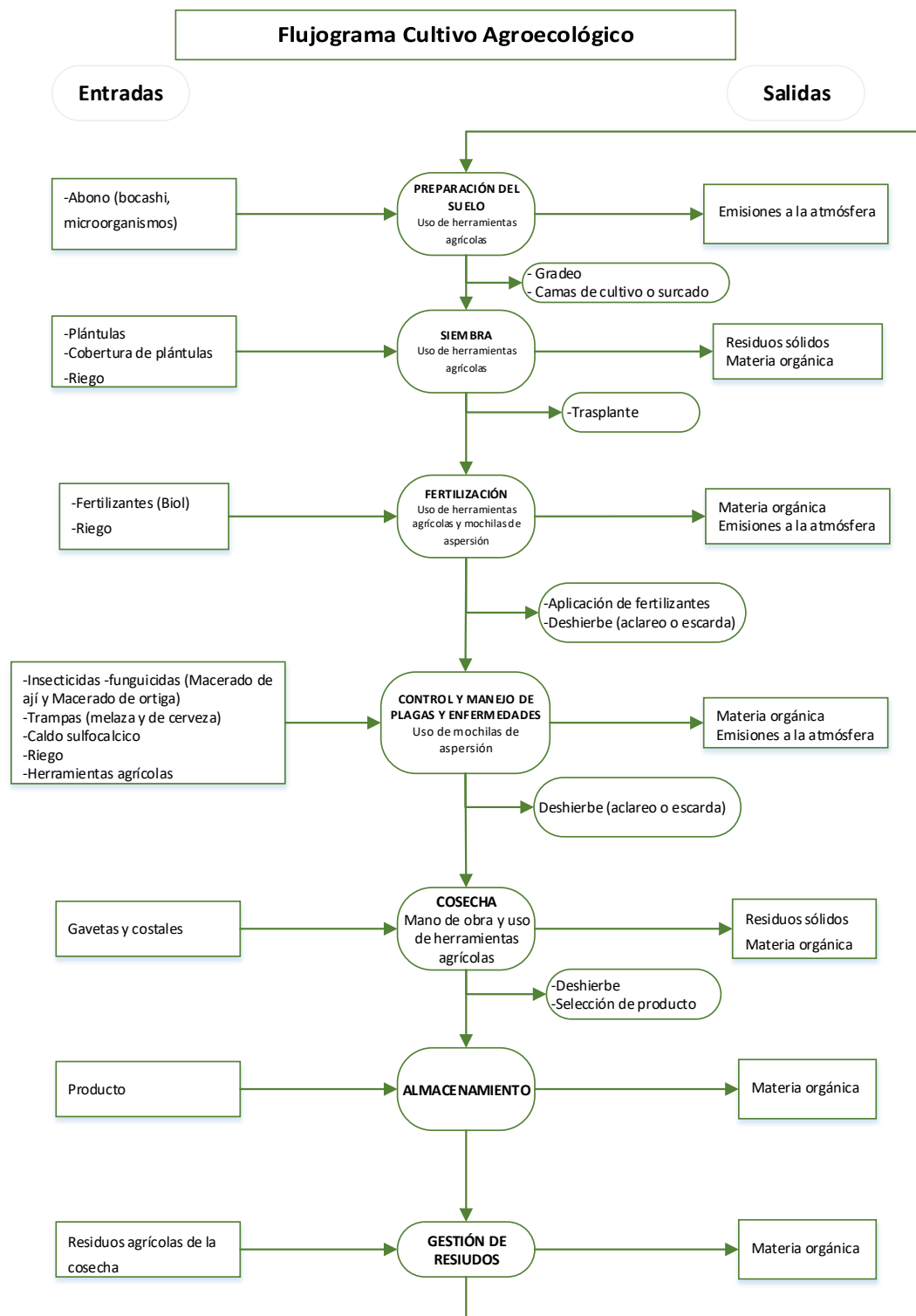


Figura 2. Flujograma de producción de *Lactuca sativa*. Cultivo agroecológico
Elaborado por: Loachamín, E., 2018.

4.4. Metodología de estimación de Huella de Carbono

La metodología a utilizar es PAS 2050:2011 (BSI, 2008), guía el cálculo de huella de carbono considerando todas las emisiones generadas en la fase agrícola, los lineamientos requeridos para la estimación de GEI seguirán las directrices del IPCC, partiendo del árbol de decisiones para la elección del nivel a trabajar, el presente estudio es desarrollado bajo el Nivel 1, pues su contenido permite el desarrollo de manera simple como son las ecuaciones y parámetros por defecto que incluye.

Los datos recolectados de la fase agrícola de la lechuga de cada productor, son parte del cálculo de GEI, mismos que serán tabulados en las hojas de cálculo *Excel*.

4.4.1. Gases de Efecto Invernadero por combustión en fuente móvil

Para determinar las emisiones generadas por combustión móvil se trabajó con los capítulos 1 y 3, Volumen 2. Energía del IPCC año 2006, cual detalla vehículos y maquinaria móvil en la agricultura, específicamente transporte todo terreno. Las emisiones por combustión móvil se presentaron en el cultivo convencional por el uso de tractor en la preparación del suelo. Por tal motivo la ecuación para valorar las emisiones de CO₂ producto de la combustión es la siguiente. Anexo 12

$$Emisiones = \sum_j (Combustible\ j * EF\ j) \quad (1)$$

Fuente: (IPCC, 2006c)

Donde:

Las emisiones están dadas en kg, mientras el combustible vendido corresponde al consumido en TJ, el factor de emisión dado en kg/TJ y el tipo de combustible es J (IPCC, 2006c).

Para el cálculo del combustible consumido se requiere la densidad en masa, dependiendo del combustible empleado, en la tabla 5 se encuentran los valores para su desarrollo.

Tabla 5 Densidad según el tipo de combustible

<i>Tipo de combustible</i>	<i>Densidad (kg/m³)</i>
Diésel	832

Fuente: (BioGrace, 2011).

Los valores de TJ, se los obtiene del producto entre el combustible empleado por los valores calóricos netos contenidos en la siguiente tabla.

Tabla 6 Valores Calóricos Netos (VCN)

<i>Tipo de combustible</i>	<i>Valor calórico Neto (TJ/Gg)</i>
Diésel	44,3

Fuente: (IPCC, 2006b).

En la tabla 7, se encuentran los factores de emisión de los GEI provenientes de la fuente todo terreno, para determinar los kg de emisiones.

Tabla 7 Factores de emisión por tipo de combustible

Fuente todo terreno	<i>CO₂ (kg/TJ)</i>	<i>CH₄ (kg/TJ)</i>	<i>N₂O (kg/TJ)</i>
	74100	4,15	28,6

Fuente: (IPCC, 2006c).

Posteriormente, las emisiones de GEI deben ser multiplicados por sus equivalencias contenidas en la siguiente tabla.

Tabla 8 Potencial de calentamiento global (GWP)

<i>Gas</i>	<i>Fuente de emisión</i>	<i>GWP para un horizonte temporal de 100 años</i>
Dióxido de carbono (CO ₂)	Combustibles fósiles (CF), deforestación, cemento	1 CO _{2eq}
Metano (CH ₄)	Rellenos sanitarios, fermentación entérica, arroz, CF	25 CO _{2eq}
Óxido Nitroso (N ₂ O)	CF, fertilizantes, fibras sintéticas, estiércol	298 CO _{2eq}

Fuente: (IPCC, 2006c).

Finalmente, los kg de CO₂eq están determinados por la siguiente ecuación:

$$Total\ de\ CO_2eq\ (kg) = CO_2\ (kg) * 1 + CH_4(kg) * 25 + N_2O(kg) * 298 \quad (2)$$

Fuente: (IPCC, 2006c)

En la estimación de GEI de fuentes de N₂O sean estas directas o indirectas, se empleó el Vol. 4 AFOLU del IPCC del año 2006, proporcionada para suelos gestionados. Ver Anexo 11

4.4.2. Gases de Efecto Invernadero por emisiones Directas de N₂O

Como detalla el (IPCC, 2006a), el método se basa en depósitos y flujos que contienen agregados de N resultado de las actividades antropogénica como la aplicación al suelo de fertilizantes de origen sintéticos u orgánicos, depósitos de estiércol, residuos agrícolas y barros cloacales. Las ecuaciones fueron aplicada acorde a las necesidades del tipo de cultivo sea este agroecológico o convencional. Como se presenta en la siguiente ecuación en términos del tipo de suelo gestionado.

$$N_2O_{Directas} - N = N_2O - N_{N_{Aportantes}} \quad (3)$$

Fuente: (IPCC, 2006a).

Donde:

Las variable $N_2O_{Directas} - N$ y $N_2O - N_{N_{Aportantes}}$, son los kg N₂O–N año⁻¹ de las emisiones directas producidas y aportadas al año por suelos gestionados en kg N₂O–N año⁻¹ de las emisiones directas al año producto de suelos gestionados (IPCC, 2006a).

Parte de esta ecuación nos orienta a las fuentes aportantes de N₂O.

$$N_2O - N_{N_{Aportantes}} = (F_{SN} + F_{ON} + F_{CR} + F_{SOM}) * EF_1 \quad (4)$$

Fuente: (IPCC, 2006a).

Donde:

La $N_2O_{Directas} - N$ contiene a las variables a F_{SN} , es el N aplicado como fertilizante sintético, F_{ON} , es el estiércol animal, así como el compost, lodos cloacales y otros aportes, F_{CR} , es el N de los residuos agrícolas, F_{SOM} , es el N en suelos minerales; todos ellos corresponden a la cantidad anual en kg N año⁻¹ y EF_1 , corresponde al factor de emisión de N₂O de aportes de N, kg N₂O–N (kg aporte de N)⁻¹ (IPCC, 2006a).

Para establecer las ecuaciones en los dos tipos de cultivos, se trabaja con los requerimientos acorde a los mismos y se descartan las variables que no influyen en la actividad.

Para el cultivo convencional se descartan F_{CR} es nula pues presenta aspectos de otro tipo de cultivo F_{SOM} , no ha cambiado el uso de suelo, F_{ON} ya que no aplica fertilizantes orgánicos y mantiene las siguientes variables F_{SN} uso exclusivo de fertilizantes sintéticos y concluyendo en la siguiente ecuación. Ver Anexo10

$$N_2O - N_{Aportantes} = (F_{SN}) * EF_1 \quad (5)$$

Fuente: (IPCC, 2006a).

Para el cultivo Agroecológico acorde a la investigación, se descartan F_{SN} ya que no utilizan agroquímicos, F_{CR} es nulo para evitar el doble cómputo en F_{ON} y F_{SOM} por el mismo uso de suelo, manteniendo la siguiente variable F_{ON} , ya que estos cultivos solo hacen uso insumos de origen orgánicos previa transformación a Bokashi y Biol,

$$N_2O - N_{Aportantes} = F_{ON} * EF_1 \quad (6)$$

Fuente: (IPCC, 2006a).

Para las emisiones directas de N_2O , el factor de emisión por los aportes de N, aplicados como fertilizantes minerales, abonos orgánicos y residuos agrícolas, y N mineralizados es $EF_1 = 0,01$.

Las variables a determinar incluidas en F_{ON} por los agregados de nitrógeno orgánico en el cultivo agroecológico son: F_{COMP} son los kilogramos de N de compost y F_{OOA} son los kilogramos de otros abonos orgánicos aplicados al suelo como fertilizantes como lo es el biol.

$$F_{ON} = F_{COMP} + F_{OOA} \quad (7)$$

Fuente: (IPCC, 2006a).

La recopilación de los valores obtenidos de las emisiones aportantes $N_2O - N$ a N_2O se traduce en la siguiente ecuación para ambos cultivos.

$$kg \text{ de } N_2O = N_2O - N_{Directas} * \frac{44}{28} \quad (8)$$

Fuente: (IPCC, 2006a).

Finalmente se aplicó la siguiente ecuación con el aporte de GWP en la Tabla 8:

$$kg \text{ } CO_2eq = kgN_2O * GWP \quad (9)$$

Fuente: (IPCC, 2006a).

4.4.3. Gases de Efecto Invernadero por emisiones Indirectas de N₂O

Se presentan dos vías en la estimación de emisiones indirectas:

La primer vía, es la volatilización de N como NH_3 y óxidos de N (NO_x), además de la deposición de estos gases y de sus productos NH_4^+ y NO_3 (IPCC, 2006a). Mediante las siguiente ecuación.

$$N_2O_{(ATD)} - N = [(F_{SN} * Frac_{GASF}) + ((F_{ON} * F_{PRP}) * Frac_{GASM})] * EF_4 \quad (10)$$

Fuente: (IPCC, 2006a).

Donde:

La variable $N_2O_{(ATD)} - N$, corresponde a los kg N₂O–N año⁻¹ producto de la deposición de N volatilizado al año. Incluye F_{SN} y F_{ON} , que son el N proveniente de la aplicación del fertilizante sintético y estiércol de animal gestionado, lodo cloacal y otros que contienen N respectivamente dado en N₂O–N año⁻¹. También contiene a $Frac_{GASF}$ y $Frac_{GASM}$, que corresponden a las fracciones de N proveniente de fertilizantes y las fracciones de fertilizante N orgánico; así como las depositadas por los animales para la actividad de pastoreo que se volatilizan como NH₃ y NO_x, dadas en kg de N volatilizado (kg de N aplicado o depositado)⁻¹ y finalmente EF_4 , es el factor de emisión de N₂O de la deposición atmosférica de N en suelo y agua dado por [kg N–N₂O (kg NH₃–N + NO_x–N volatilizado)⁻¹] (IPCC, 2006a).

Una vez adaptada la ecuación a los requerimientos de ambos cultivos se obtiene las siguientes ecuaciones:

Para cultivos convencionales:

$$N_2O_{(ATD)} - N = [(F_{SN} * Frac_{GASF})] * EF_4 \quad (11)$$

Fuente: (IPCC, 2006a).

Para cultivos agroecológicos:

$$N_2O_{(ATD)} - N = [(F_{ON} * Frac_{GASM})] * EF_4 \quad (12)$$

Fuente: (IPCC, 2006a)

Los factores de emisión de N aplicados al suelo de forma indirecta para EF_4 volatilización y reposición de N es 0.010, $Frac_{GASF}$ cuyo valor por volatilización de fertilizantes sintéticos es 0,10 y $Frac_{GASM}$ por volatilización de todos los fertilizantes de nitrógeno orgánicos aplicados, de estiércol y orina depositada por animales de pastoreo es 0,20; dados por $(kg\ NH_3-N + NO_x-N) (kg\ N\ aplicado\ o\ depositado)^{-1}$ (IPCC, 2006a).

La recopilación de los valores obtenidos de las emisiones aportantes $N_2O_{ATD} - N$ a N_2O se traduce en la siguiente ecuación para ambos cultivos.

$$N_2O_{(ATD)} = N_2O_{(ATD)} - N * \frac{44}{28} \quad (13)$$

Fuente: (IPCC, 2006a).

Finalmente se aplicó la siguiente ecuación con el aporte de GWP en la tabla 8:

$$kg\ CO_2eq = kgN_2O * GWP \quad (14)$$

Fuente: (IPCC, 2006a).

En lo que cabe a la segunda vía de emisiones indirectas de N_2O a través de lixiviación y escurrimiento, fueron descartas puesto las localidades de estudio presentan precipitaciones menores que la evapotranspiración, por ende el $Frac_{LIXIVIACIÓN}$ es cero, de ser lo contrario se asume su valor por defecto de 0,30.

4.4.4. Emisiones por cal

El cálculo de emisiones de CO_2 para uno de los productores del CA aplica cal en su cultivo, para su determinación se empleó la siguiente ecuación:

$$CO_2 - C = M_{Caliza} * EF_{Caliza} \quad (15)$$

Fuente: (IPCC, 2006a).

Donde:

El valor de $CO_2 - C$, corresponde a las emisiones al año de C por adherir cal y M_{Caliza} , es cantidad de piedra cálcica ($CaCO_3$) en Ton C año⁻¹, además el factor de emisión de la piedra caliza es 0,12 (ton de piedra caliza)⁻¹(IPCC, 2006a).

Las emisiones por urea se descartan para los dos tipos de cultivos puesto que no los aplican para contribuir con el crecimiento de la planta, corregir el pH en el suelo, ni como fertilizante, por lo contrario los productores convencionales aplican directamente estiércol de animales, ítem ya tratado anteriormente. Los agroecológicos no aplican ya que sus prácticas no están basadas en dichas actividades ni están acorde a los lineamientos de la organización BIOVIDA y SPG. Las emisiones de metano se descartaron dentro del estudio porque no fueron emitidas ya que no existió proceso de fermentación entérica de rumiantes y este proceso no corresponde al recurso suelo.

4.4.5. Emisiones por el empleo de fertilizantes

La valoración incluye todos los fertilizantes aplicados al cultivo, la estimación de los GEI está dada por:

$$kg \frac{CO_2eq}{ha} = Cantidad\ de\ fertilizante * FE \quad (16)$$

Fuente: (BioGrace, 2011)

Los factores de emisión para fertilizantes en base a sus nutrientes, los contiene la siguiente tabla:

Tabla 9 Factor de emisión aplicado a fertilizantes

<i>Fertilizante compuesto</i>	<i>Factor de emisión gCO₂eq/kg</i>
N total	5,88
P ₂ O ₅	1,01
K ₂ O	0,57

Fuente: (BioGrace, 2011)

4.4.6. Obtención de la Unidad funcional

En la presente investigación la unidad funcional de emisiones de $kgCO_2eq$ por kg de producto, correspondiendo la siguiente ecuación:

$$Emisiones\ de\ GEI = \frac{\frac{kgCO_2eq}{ha*año}}{\frac{kg\ de\ producto}{ha*año}} \quad (17)$$

Fuente: (Centro de Comercio Internacional [ITC], 2012)

Toda información se traduce a la ecuación final:

$$kg\ CO_2eq = actividad * FE * GWP \quad (18)$$

Fuente: (Centro de Comercio Internacional [ITC], 2012)

4.5. Metodología para la estimación de Huella Hídrica

El proceso para la determinación de huella hídrica, sigue la metodología The Water Footprint, implica el uso del programa CROPWAP 8.0 y desarrollo en hojas de cálculo Excel en consecución del resultado final. Ver Anexo 14

4.5.1. Variables meteorológicas requeridas

La información necesaria de datos meteorológicos para obtener estas variables fue proporcionada por las estaciones meteorológicas pertenecientes a la Universidad Politécnica Salesiana. Las estaciones EM-UPS-1, EM-UPS-2, EM-UPS-3, corresponden a las localidades de Azcazubi, Olmedo y Cangahua respectivamente; estas proporcionan los datos completos para un periodo de 4 años y correspondiente a las zonas de estudio. Los datos corresponden a la precipitación media mensual (mm), la temperatura media mensual (°C), humedad relativa media mensual (%), heliofanía media mensual (horas) y velocidad del viento en (m/s). Estos valores se los trabaja con

CROPWAT 8.0 para determinar la evapotranspiración de referencia (ET_0) y la precipitación efectiva. Ver Anexo 4 y 12

En el programa para determinar (ET_0) se aplicó la formula proporcionada por FAO.

$$ET_0 = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1+0,34 u_2)} \quad (19)$$

Fuente:(Allen et al., 2006)

Donde:

La ET_0 , son los mm día⁻¹ de evapotranspiración de referencia; R_n y R_a corresponden a la radiación neta en el área del cultivo (MJ m⁻² día⁻¹) y extraterrestre, así también G es el calor del suelo (MJ m⁻² día⁻¹), T representa la temperatura (°C) del aire a una elevación de 2 m de altura, u_2 es la velocidad del viento (m/s) a una altura de 2 m, e_s corresponde a la presión de vapor (kPa) de saturación, e_a es la presión real de vapor (kPa), $e_s - e_a$ determina el déficit de presión de vapor (kPa), Δ muestra la pendiente de la curva de presión de vapor (kPa °C⁻¹) y finalmente γ es la constante psicrométrica (kPa °C⁻¹) (Allen et al., 2006).

Para el cálculo de precipitación efectiva, la formula a trabajar en el programa, corresponde a FAO/AGLW para obtener un valor confiable de precipitación, los valores introducidos corresponden a los datos mensuales del periodo de estudio 2015-2018 mm d⁻¹.

4.5.2. Evapotranspiración del cultivo

El cálculo realizado por CROPWAT, aplica el producto de k_c , dada por defecto en la tabla 10 por ET_0 , previamente calculada para determinar el valor de evapotranspiración del cultivo, se tiene la siguiente ecuación:

$$ET_c = k_c * ET_o \quad (20)$$

Fuente: (Allen et al., 2006)

Donde:

El ET_c , corresponde a la evapotranspiración del cultivo en (mm d-1), k_c es el coeficiente atribuido al tipo de cultivo y ET_o es la evapotranspiración del cultivo en referencia (mm d-1) (Allen et al., 2006).

4.5.3. Datos característicos del cultivo

En cuanto a los datos del cultivo a ingresar en CROPWAT 8.0 son: fechas de siembra y cosecha, duración de cada fase, rendimiento productivo, profundidad radicular, altura y los valores de k_c , este último corresponde a los valores de coeficiente único para la Lechuga y está determinado por la FAO en (Allen et al., 2006) del año 2006 para las etapas inicial, medio y final.

Tabla 10 Valores de coeficiente único (k_c) para la lechuga

k_c inicial	k_c medio	k_c final	Altura Máxima (m)
0,7	1	0,95	0,3

Fuente: (Allen et al., 2006)

Para obtener los valores de la tasa máxima de infiltración por la precipitación (mm/día), humedad total disponible en el suelo (mm/m), profundidad radicular máxima (cm), agotamiento inicial del suelo (%) y humedad del suelo disponible inicialmente (mm/m); se trabajó con las clases textura de los cultivos determinados en laboratorio que fueron ingresados en CROPWAT para su efecto.

4.5.4. Requerimiento de agua del cultivo (RAC)

La RAC, calculada a través de CROPWAT contempla las fases: inicial, desarrollo, medio y final del cultivo. Además le atribuye un tipo de Huella, de tal

manera que la RAC verde corresponde al agua proveniente de la lluvia, la RAC azul al agua de riego e incluye al RAC gris comprendido como el agua contaminada (Allen et al., 2006).

4.5.5. Rendimiento productivo

El rendimiento del cultivo de *Lactuca sativa*, está determinado por las toneladas de producto cosechado en un área conocida de terreno cultivado, los datos proporcionados para el cálculo, son las lechugas contadas y pesadas en la cosecha. Para lo cual el rendimiento está denominado como Y (Hoektra, Chapagain, Aldana, & Mekonnen, 2011).

4.5.6. Estimación de huella hídrica Verde y Azul

La huella hídrica verde, está dada por el agua proveniente de la precipitación en el cultivo (RAC verde) para el rendimiento productivo del mismo. Ver Anexo 13

La huella hídrica azul está dada por el uso de agua de riego en el cultivo (RAC azul) para el rendimiento productivo del mismo.

Con las respectivas conversiones las ecuaciones están en términos de m^3/ton , para huella verde y azul.

$$HH_{verde} = \frac{RAC_{verde}}{rendimiento_{productivo}} \left(\frac{volumen}{masa} \right) \quad (21)$$

$$HH_{azul} = \frac{RAC_{azul}}{rendimiento_{productivo}} \left(\frac{volumen}{masa} \right) \quad (22)$$

Fuente: (Hoektra et al., 2011)

4.5.7. Estimación de huella hídrica gris

La huella hídrica gris, su cálculo corresponde solo para los cultivos convencionales pues hacen uso de fertilizantes y plaguicidas sintéticos, esta información fue obtenida en campo y en el seguimiento de las actividades que conlleva la fase agrícola. Está determinada por la siguiente ecuación:

$$HH_{gris} = \frac{\frac{(a \cdot AR)}{(C_{m\acute{a}x} - C_{nat})}}{Y} \left(\frac{m^3}{ton} \right) \quad (23)$$

Fuente: (Hoektra et al., 2011)

Donde:

El valor de a , es la lixiviación y escorrentía del agua en fracción, AR es la cantidad de fertilizante aplicado al cultivo (kg/ha; Kg/m²), $C_{m\acute{a}x}$ es la concentración máxima permitida a un contaminante por la fuente receptora, C_{nat} es la concentración natural del contaminante por fuente receptora y Y es el rendimiento del cultivo (ton/m²) (Hoektra et al., 2011).

En la determinación de esta huella se incluyen los fertilizantes utilizados en la CC de la fase agrícola. En la siguiente tabla se detallan los fertilizantes aplicados.

Tabla 11 Fertilizantes aplicados en los cultivos convencionales

Nombre del Producto	Función	Cantidad aplicada (kg/kg de producto)
SOLUFOL desarrollo y engrose	Fertilizante	0,1
NUTRIFYL desarrollo y engrose	Fertilizante	0,085
Sulfato de Amonio	Fertilizante	0,12
Abono completo	Fertilizante	0,12

Fuente: (Loachamín, 2019)

La tabla 11, se verifica con el problema potencia de calidad de aguas para riego y su límite de descarga en la fuente receptora y acorde al AM 097-A, expresa únicamente el parámetro de nitrógeno presente en la tabla 12.

Tabla 12 *Parámetro de calidad para descargar en cuerpo receptor*

PROBLEMA POTENCIAL	UNIDADES	GRADO DE RESTRICCIÓN			
		Ninguno	Ligero	Moderado	Severo
<i>Nitrógeno (N-NO3-)</i>	<i>mg/l</i>	5,0	5,0	30,0	>30

Fuente: (MAE, 2015)

4.5.8. Estimación de huella hídrica en la fase agrícola

La huella hídrica convencional, está determinada por las tres huellas en toda su fase agrícola, por tanto se emplea la siguiente ecuación:

$$HHC = HH \text{ verde} + Huella \text{ Azul} + Huella \text{ gris} \quad (24)$$

Fuente: (Hoektra et al., 2011)

La huella hídrica agroecológica, se descarta la HH gris, pues este tipo de cultivos no contamina el recurso hídrico ya que no aplican agroquímicos. Ver Anexo

15

$$HHC = HH \text{ verde} + Huella \text{ Azul} \quad (25)$$

Fuente: (Hoektra et al., 2011)

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Resultados en la fase de campo

Los presentes resultados se obtuvieron de las continuas visitas a campo realizadas en los meses de julio a noviembre del año 2018.

A continuación, se detallan en la tabla 13 los datos de cada parcela:

Tabla 13 Valores de coeficiente único (kc) para la lechuga

COD-Parcela	Tipo de cultivo	Superficie (m ²)	Rendimiento Kg/m ²	Ubicación Parroquias	Ubicación geográfica
A1	Agroecológico	28,98	6,98	Ayora	0.089730, -78.117632
A2	Agroecológico	10,10	6,43	Ayora	0.084538, -78.118661
A3	Agroecológico	37,52	5,59	Pingulmi	0.001619, -78.216679
C1	Convencional	105,72	7,36	Juan Montalvo	0.014184, -78.147525
C2	Convencional	126,34	6,64	Cusubamba	-0.030296, -78.293734
C3	Convencional	222,60	6,73	Cusubamba	-0.030655, -78.292910

Elaborado por: Loachamín, E., 2018.

5.2. Resultados en la Fase de laboratorio

5.2.1. Resultados de parámetros físico-químico del suelo

Resultados de los análisis físicos-químicos están contenidos en la siguiente tabla:

Tabla 14 Resultados de parámetros físico-químicos para suelo

Parámetros	Unidad	A1	A2	A3	C1	C2	C3
pH		5,5	6,7	7,5	6,6	7,5	6,9
conductividad eléctrica (CE)	dS/m	0,41	0,31	0,34	0,48	0,61	1,81
Materia orgánica	%	5,48	4,72	2,34	4,95	2,18	2,14
Nitrógeno Total	%	0,27	0,24	0,12	0,25	0,11	0,11
Carbono	%	3,17	2,73	1,35	2,86	1,26	1,24
Arenas	%	72	74	76	74	77	75
Arcillas	%	4	4	8	5	5	6
Limos	%	20	22	16	21	17	19
Textura		FA	FA	AF	FA	AF	FA

Detalle: FA corresponde a Franco Arenoso y AF corresponde a Arena Francosa

Elaborado por: Loachamín, E., 2018.

En el análisis de resultados, el pH del suelo corresponde al grado de acidez, el suelo de la parcela A1 tiene el pH más bajo en relación al resto, tendiendo hacia la acidez, es decir que se está influyendo en la disponibilidad de nutrientes, un pH para el desarrollo de la Lechuga está en 6-7, se adaptan a las condiciones del suelo sea este ácido o alcalino y aunque influye en el crecimiento del cultivo no lo hace en la producción directamente (Sierra, 1982).

A continuación, la tabla 15 detalla los intervalos adecuados para el desarrollo del cultivo.

Tabla 15 Resultados de parámetros físico-químicos para suelo

<i>pH</i>	<i>Evaluación</i>	<i>Efectos esperados en el suelo</i>
5,0 - 6,0	Medianamente ácido	Intervalo adecuado para la mayoría de cultivos
7,4 – 7,8	Medianamente básico	Intervalo adecuado para la mayoría de cultivos. Presencia en el suelo de carbonato de calcio (CaCO ₂)

Fuente: (Casas, 2011)

En cuanto a la conductividad eléctrica, FAO ha colaborado con mucha información Methods and Interpretation of electrical conductivity measurements, establece los rangos de 0-2 (dS/m) como efectos de salinidad imperceptibles (Rhoades, Chanduvi, & Lesch, 1999). Todos los productores están en rangos inferiores a lo establecido pero se puede observar diferencia entre ellos, tal es el caso de C3, debido a la aplicación de fertilizantes sintéticos a la planta y por ende al suelo pues lleva más de 10 años en la producción de hortalizas, mientras C1 y C2 van produciendo más de año, sin embargo se resaltar que C1 aplica fertilización sintética y control fitosanitario natural; por ello las sales presentes en el suelo influyen en las plantas ocasionando problemas en asimilación de nutrientes y disminución de la actividad microbiana del suelo (FAO, 2019a).

La calidad de un suelo radica en su contenido de materia orgánica, las parcelas A1 y A2 tienen porcentajes altos de materia orgánica pues llevan 8 años desarrollando y aplicando las prácticas agroecológicas, mientras A3 está alrededor de 3 años ya que está en proceso de transición. Las parcelas C1 y C2 contienen menor porcentaje, sin embargo están en un rango de nivel medio de 1,2-2,8 % (FAO, 2013), a excepción de C1 pues el combina agroquímicos con productos naturales; esta materia orgánica es fuente de los microorganismos permitiendo reparar las características físicas del suelo. Todos los productores se mantienen en el rango, esto radica para el CA el aumento de materia orgánica por las prácticas implementadas, mientras para CC puede tender a disminuir por la aplicación de agroquímicos.

Un suelo contiene una buena textura cuando sus constituyentes se convierten en un soporte fijo favoreciendo la nutrición de las plantas a través de sus sistemas radicular (Rucks *et al*, 2004); AF y FA develan el beneficio de estar en textura franca, pues están constituidos con suelos más ligeros para la aeración y el paso de agua por la permeabilidad. Los suelos de textura AF tienen sus limitaciones por la baja porosidad entre sus partículas, volviéndose una desventaja para la planta, disminuyendo la retención de agua y cuando esta no cuente con riego, mientras FA es un suelo con textura equilibrada entre arenas, limos y arcillas, permitiendo que la planta se desarrolle de mejor manera. La tabla 16, recopila la información de las fracciones en relación a los componentes de la textura del suelo.

Tabla 16 *Fracciones del suelo*

<i>Fracción</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>
<i>Arcilla</i>	***	*	***	*	*
<i>Limo</i>	**	**	**	**	**
<i>Arena</i>	*	***	*	***	**

Detalle: a = retención del suelo, b= infiltración del agua, c= retención del agua, d= aireación, e=capacidad de ser cultivado
Fuente: (Doménech, 1995)

Por facilidad, en la tabla 17 se detallan valores generales de los parámetros para la CC y CA.

Tabla 17 Resultados de parámetros físico-químicos para suelo

<i>Parámetro</i>	<i>Promedio A</i>	<i>Promedio C1 y C2</i>	<i>Promedio C</i>
pH	6,57	7,2	7
conductividad eléctrica (dS/m)	0,35	1,21	0,96
Materia orgánica (%)	4,18	2,16	3,09

Elaborado por: Loachamín, E., 2018.

Es notable que la conductividad eléctrica y la materia orgánica del suelo es mayor en los convencionales atribuyéndoles al uso de fertilizantes sintéticos, mientras los agroecológicos es mejor por las propiedades mismas del suelo por las técnicas agroecológicas que aplican y estén resultando beneficiosas. Los agroquímicos son aplicados en las producciones convencionales. Torres & Capote, (2004), mencionan que el “0,1 % de plaguicidas aplicado llega a la plaga, mientras que el restante circula por de la lluvia o del riego” como es el caso del productor C2 que lo hace por inundación.

5.2.2. Resultados físicos-químicos del agua

La tabla 18, reúne los resultados del análisis a las fuentes de riego para los cultivos.

Tabla 18 Resultados de parámetro físicos-químico para las muestras agua

<i>Parámetros</i>	<i>Unidad</i>	<i>A1</i>	<i>A2</i>	<i>A3</i>	<i>C1</i>	<i>C2</i>	<i>C3</i>
pH		7,4	6,6	7,3	8,2	8,4	8,0
conductividad eléctrica	dS/m	0,10	0,12	0,07	0,21	0,29	0,29
Turbiedad	NTU	5,45	10,70	6,80	83,93	42,40	30,77
Carbonatos	mg/l	0,00	0,00	0,00	0,00	0,27	0,37
Bicarbonatos	meq/l	1,50	1,10	1,10	1,46	1,40	0,74

Elaborado por: Loachamín, E., 2018.

En la tabla 19, se promedian los valores de los parámetros para CA y CC.

Tabla 19 Resultados de parámetro físicos-químico para las muestras de agua

<i>Parámetros</i>	<i>Productores</i>	
	<i>Promedio CA</i>	<i>Promedio CC</i>
pH	7,1	8,2
conductividad eléctrica (dS/m)	0,1	0,26
Turbiedad (NTU)	7,7	52,36
Carbonatos (mg/l)	0	0,21
Bicarbonatos (meq/l)	1,2	1,2

Elaborado por: Loachamín, E., 2018.

Los canales de riego que abastecen a estas producciones son: Tomalón-Tabacundo en Ayora, Guanguilqui en Pingulmi, Maldonado en Juan Montalvo y el Pisque en Cusubamba.

Los valores obtenidos para el pH, demuestran que este tiende a ser alcalino, de tal modo que las plantas presentarán deficiencia en micronutrientes como hierro, zinc y macronutriente como el fosforo, donde el pH ideal está cerca de valores neutrales(Agrotecnología, 2018).

Dentro de los factores que influyen en una buena producción, incluye la disponibilidad de agua, seguida de su calidad. De acuerdo a James & Junirak (1982), la clasificación de aguas de riego según la salinidad, determinan que el presente estudio tiene una conductividad en agroecológicos menor a 0,0025 (dS/m) y convencionales menor a 0,00750 (dS/m), siendo excelente y buena la clase agua respectivamente para cada cultivo.

En cuanto a la turbiedad, puede ocasionar obstrucción en el sistema de regadío, sus solidos pueden afectar a la permeabilidad del suelo, dificultando el paso del agua y del aire (Heredia, 2018).

Tanto los carbonatos y bicarbonatos determinan la alcalinidad en agua, siendo los bicarbonatos un factor importante a tomar en cuenta por sus concentraciones ya

sean de origen natural o antrópico asociándolo a la contaminación, de tal manera que los valores obtenidos están en un rango de ligero a moderado para bicarbonatos según el Acuerdo Ministerial 097-A, estos están presentes en todos los productores y el agua puede quemar las hojas de la planta. Al ser canales a cielo abierto estos están propensos a contaminación externa por la basura, las partículas movilizadas por el viento, filtraciones y florícolas. Sin embargo los valores están dentro del rango.

En la siguiente tabla, se puntualizan los valores de los parámetros para calidad de agua para riego.

Tabla 20 Agua para riego

PROBLEMA POTENCIAL	UNIDADES	*GRADO DE RESTRICCIÓN.			
		<i>Ninguno</i>	<i>Ligero</i>	<i>Moderado</i>	<i>Severo</i>
Salinidad					
<i>CE</i>	<i>milimhoms/cm</i>	0,7	0,7	3,0	>3,0
Efectos misceláneos					
Nitrógeno (N-NO ₃ -)	<i>mg/l</i>	5,0	5,0	30,0	>30
Bicarbonato (HCO ₃)	<i>meq/l</i>	1,5	1,5	8,5	>8,5

Fuente: (MAE, 2015)

5.2.3. Resultados de análisis bromatológico

La tabla 21, se resumen los análisis realizados a los productos; los mismos se han realizado en LABOLAB Laboratorio Acreditado por el SAE. Ver Anexo 17

Tabla 21 Resultado de análisis de trazas de pesticidas en la muestra de lechuga

Parámetros	Método	Agroecológica	Convencional
Organoclorados	AOAC 2007.01/Modificado con Cromatografía de gases MSD	NP	NP
Organofosforados	AOAC 2007.01 /Modificado con Cromatografía de gases MSD.	NP	NP
Piretriodes	AOAC 998.01 Modificado	NP	NP
Piretrinas	AOAC 982.02 Modificado	NP	NP
Ditiocarbamos	AOAC 982.02 Modificado.	NP	NP

Detalle: NP corresponde a: No Presenta y SP corresponde a: Si presenta pesticidas en su estructura bromatológica.

Elaborado por: Loachamín E., 2018

A continuación, se exponen los resultados de análisis de bioinsumos para CA en las tablas 22 y 23.

5.2.4. Resultados de contenido de Bokashi

Tabla 22 Resultado de análisis de Bokashi

Parámetros (%)	A1	A2
N	1,07	0,59
P	0,7404	1,61
K	1,5354	1,135

Fuente: LABOLAB

Elaborado por: Loachamín E., 2018

5.2.5. Resultados de contenido del biol

Tabla 23 Resultado de análisis de los bioles

Parámetros (%)	A1	Densidad (mg/l)	A2	Densidad (mg/l)
N	0,14	1,0120	0,03	1,0025
P	0,0205		0,0156	
K	0,2044		0,1025	

Fuente: LABOLAB

Elaborado por: Loachamín E., 2018

5.3. Resultados sustentabilidad

La siguiente tabla determina el grado de incidencia de los agricultores, basados en las dimensiones del SPG. Ver Anexo 16

Tabla 24 Resultado de la participación acorde a las dimensiones de la Agroecología

CRITERIOS DE SUSTENTABILIDAD			
Productores		CA	CC
	Política (%)	67	33
	Social (%)	92	25
	Cultural (%)	89	17
	Ecología (%)	87	40
	Económica (%)	86	43

Detalle: NP corresponde a: No Presenta y SP corresponde a: Si presenta pesticidas en su estructura bromatológica.

Elaborado por: Loachamín E., 2018

Los productores del CA trabajan, se desenvuelven en estas dimensiones por la práctica y lineamientos que incluye la agroecología, misma que se transmite como la

nueva revolución agrícola, modelo sostenible a medida que se piensa en el presente con perspectiva hacia el futuro. Por el contrario los productores del CC, sus participaciones son poco representativas en estas dimensiones; atribuyéndole a la falta de información, comunicación, personal técnico que les brinde soporte, desinterés y enfocándose solo en lo económico.

En la figura 3, muestra como los productores agroecológicos se desenvuelven en las cinco dimensiones en comparación a los productores convencionales; estos últimos con desconocimiento de lo beneficioso que puede resultar la agroecología implementada en su producción.

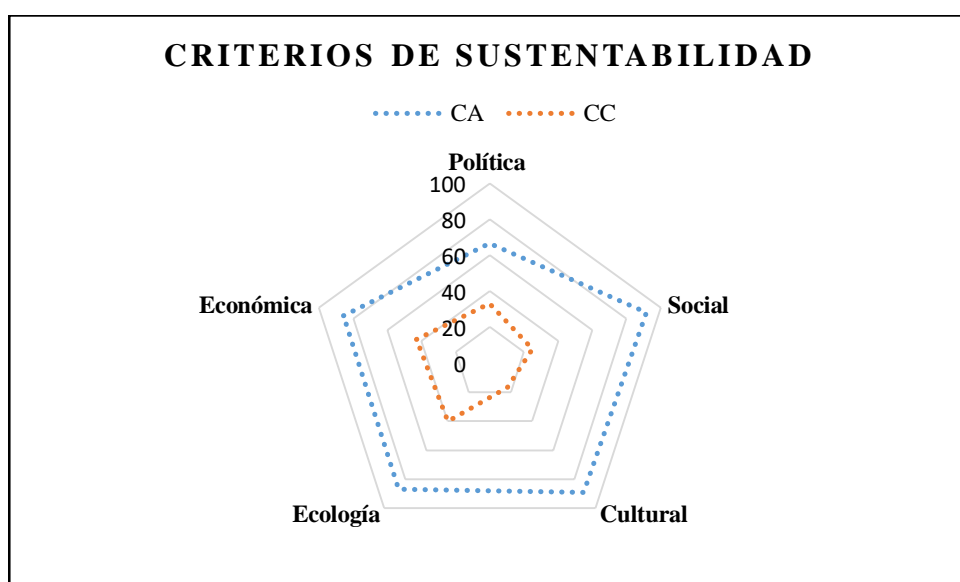


Figura 3. Grafica de sustentabilidad de la CA y CC

Con base en lo anterior, el SPG brinda criterios base para desarrollar, mejorar, y mantener armonía con el ambiente a través de una calificación a fin impulsar la agricultura familiar campesina.

5.4. Resultados de Huella de Carbono

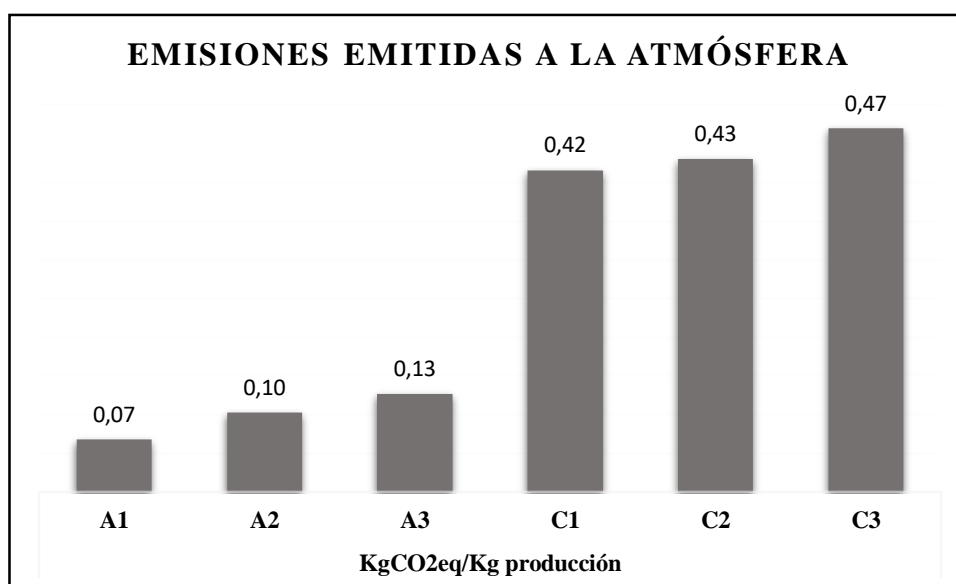
La siguiente tabla, presentan los resultados obtenidos del cálculo de huella de carbono para los cultivos de CA y CC.

Tabla 25 Resultado de emisiones de kg CO_{2eq} por actividad

EMISIONES DE GEI POR LA PRODUCCIÓN DE LECHUGA						
	A1	A2	A3	C1	C2	C3
Entradas INPUT	KgCO_{2eq}/Kg producción					
Combustibles	0,00	0,00	0,00	0,0002	0,0003	0,0004
Plántulas	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
GEI fertilizantes (producción)	0,04	0,06	0,07	0,25	0,24	0,27
Encalado (producción)	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
GEI fertilizantes (uso)	0,03	0,04	0,04	0,17	0,19	0,20
Encalado (uso)	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
Aplicación fitosanitaria	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0014	0,0032
TOTAL DE EMISIONES DE GEI	0,07	0,10	0,13	0,42	0,43	0,47

Elaborado por: Loachamín E., 2018

En la figura 4, se muestran los resultados de huella de carbono por productor para la CA son: 0,07 kg CO_{2eq}/kg (A1); 0,10 kg CO_{2eq}/kg (A2); 0,13 kg CO_{2eq}/kg (A3), mientras para los cultivos convencionales son: 0,42 kg CO_{2eq}/kg (C1); 0,43 kg CO_{2eq}/kg (C2) y 0,47 kg CO_{2eq}/kg (C3).

**Figura 4.** Huella de Carbono por parcela

La diferencia radica en que la CA, resulta de la elaboración y manejo de sus propios bioinsumos, los productores A1 y A2 tienen lugares exclusivos para los mismos, por el contrario el productor A3 no aplica las labores adecuadas para el mantenimiento del bokashi y biol, e incluye la actividad de encalado para la desinfección del suelo. En cuanto a la CC, radica en el tipo de fertilizante sintético y la dosificación aplicada, siendo C3 superior entre C1 y C2; sin embargo se resalta que C1 a pesar de

aplicar control fitosanitario natural, su alta dosificación de fertilizante sintético eleva su HC. Además se incluye la quema de combustible fósil por el uso del tractor para arar y rastrar en el terreno; estas emisiones fueron contabilizadas como energía. De tal manera que la contribución la CA es mucho menor comparado con el convencional.

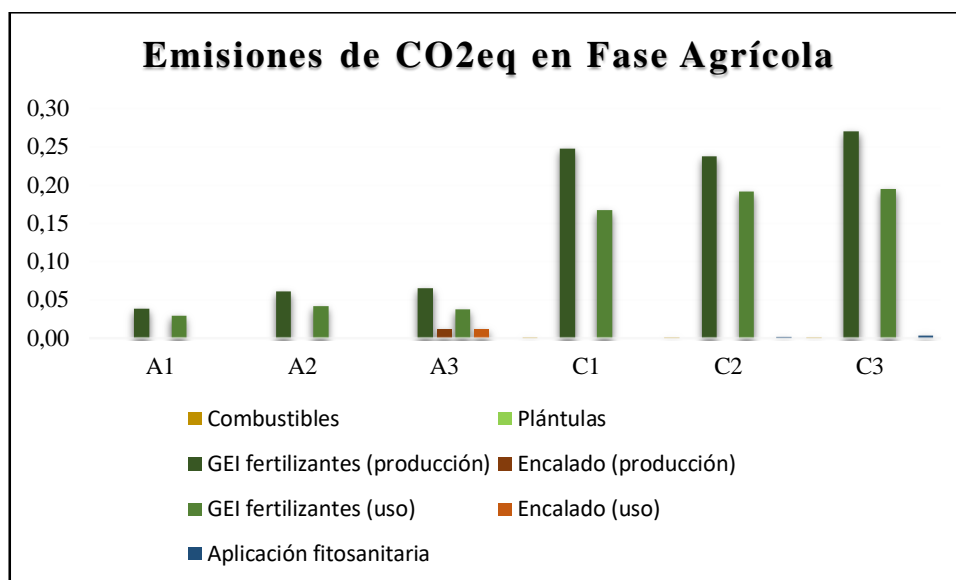


Figura 5. Emisiones por actividad de cada productor

En el promedio de los valores de cada sistema, el aporte de emisiones de la CC supera aproximadamente en cuatro veces los kgCO₂eq/kg por producto al cultivo agroecológico por sus actividades desarrolladas en la fase agrícola. Ver figura 6. Los resultados se comprueban con los obtenidos en el estudio; *“El papel de la estacionalidad en el consumo de lechuga: un estudio de caso de aspectos ambientales y sociales”* realizado por Hospido, McLaren, Truninger, Gareth y Clift (2009), mismo que evalúa los impactos ambientales basado en las emisiones de CO₂ por kilogramo de lechuga debido a que su población busca productos frescos y ambientalmente sostenibles; el artículo compara cadenas de suministro en todo el año, en Reino Unido con cultivos bajo invernadero y en campo, así también en cultivo de campo en España. Los valores obtenidos para Reino Unido, granjas con cultivos en campo 0,33 kgCO₂eq/kg, cultivos bajo invernaderos 2,62 kgCO₂eq/kg y para España en cultivo de

campo 0,45 kgCO₂eq/kg. Tomando los valores de cultivos en campo considerando solo la fase agrícola, misma que menciona pero no incluye las emisiones por el uso de maquinaria agrícola, obteniendo 0,28 kgCO₂eq/kg y 0,26 kgCO₂eq/kg para Reino Unido y España respectivamente. De estos, los dos valores son menores respecto a la producción convencional del presente estudio, superándolas con 1,61 y 1,73 kgCO₂eq/kg, frente a la CA es notablemente menor con 2,8 y 2,6 kgCO₂eq/kg, es decir que las emisiones provenientes de la agroecología son aproximadamente 3 veces menores.

De igual manera, los resultados se verifican con el documento “*Carbon footprint of local produced fruits and vegetables compared to imported goods from overseas in the Caribbean and Latin America*” por Woerishofer (2011), obteniendo 0,15 kgCO₂eq/kg de lechuga a campo abierto, en comparación con la producción convencional del presente estudio, sus emisiones son menores en 3 kgCO₂eq/kg, mientras para el agroecológico casi la duplica en 1,5 kgCO₂eq/kg, sosteniendo que la CA minora las emisiones y la CC las aporta mayoritariamente. Además, muestra que la agroecología ayuda aminorar los efectos producto del Cambio climático por sus bajas emisiones de GEI. Ofreciendo productos sanos y sobretodo con menor impacto al ambiente; esta contabilidad de carbono trasciende hacia producir alimentos menos intensivos en sus emisiones, partiendo de productos inocuos hasta sustentables.

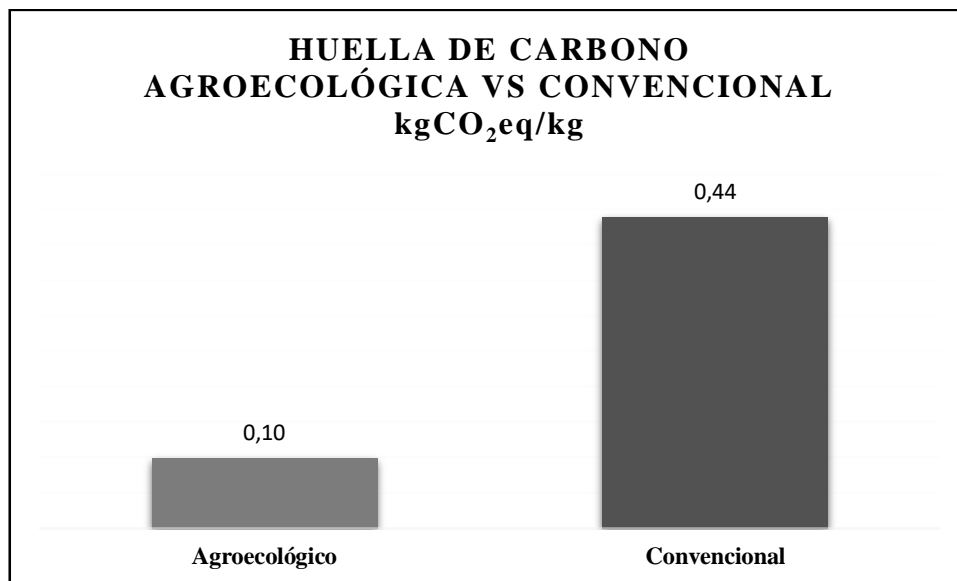


Figura 6. Huella de carbono en la producción de lechuga

Los impactos ambientales en producción dan lugar a la sustentabilidad de la agroecología, lo que conlleva al manejo de información de la cantidad de emisiones de CO₂ liberados a través del etiquetado generando conciencia y permita su reducción, contribuyendo a la mitigación y adaptación al cambio climático. De tal manera que la agroecología respalda su concepto de conservación de los recursos, cabe destacar que la presente investigación no contempla la compensación por parte de los cultivos agroecológicos, ya que estos cuentan con sistemas de forestería, silvopastoril y entre otros, dentro de sus unidades de producción agrícola y estarían compensado su huella de carbono pudiendo llegar a ser neutra. Ver Anexo 17. Es importante mencionar que existe diferencias en el cálculo de huella de carbono, en específico por las condiciones geográficas, características del cultivo, técnicas agrícolas aplicadas, insumos agrícolas o agroquímicos empleados, así también las metodológicas basadas en normas como ISO, PAS o en general; no son similares por sus límites, características o realidades de cada país, ya que no hay una norma regulatoria dificultando una comparación.

5.5. Resultados de la Huella Hídrica

A continuación, las tablas 26 y 27 detallan los valores de las huellas verdes, azules y grises para las cadenas agroalimentarias agroecológica y convencional.

Tabla 26 Resultado de huella hídrica en producción Agroecológica

<i>COD</i>	<i>VERDE (m³/ton)</i>	<i>AZUL (m³/ton)</i>	<i>GRIS (m³/ton)</i>
A1	3,14	36,52	0
A2	3,50	39,73	0
A3	12,28	33,75	0
Huella Hídrica Agrícola (m³/ton)			43

Elaborado por: Loachamín E., 2018

En los cultivos agroecológicos se descarta la huella gris, pues en su fase agrícola no aplican fertilizantes sintéticos y el control fitosanitario lo realizan con insumos naturales que no aportan a los GEI; como por ejemplo el macerado de ají, ortiga, entre otros. La diferencia entre las HH verdes de las parcelas es mínima, debido a la precipitación del periodo de estudio establecido (2015-2018), siendo A3 el que evapora o incorpora agua al producto. La HH azul de A2, tiene mayor valor por el riego a través de una manguera, brindándole al cultivo agua así como su evaporación en el propio proceso; en cambio para A1 se lo hace de forma manual o por gravedad (balde) por la cercanía al canal, siendo riego medianamente controlado y por último, A3 es menor por el riego a aspersión y el control del tiempo empleado.

Tabla 27 Resultado de huella hídrica en producción Convencional

<i>COD</i>	<i>VERDE (m³/ton)</i>	<i>AZUL (m³/ton)</i>	<i>GRIS (m³/ton)</i>
C1	0,85	21,18	48
C2	1,22	30,46	55
C3	1,20	30,05	64
Huella Hídrica Agrícola (m³/ton)			84

Elaborado por: Loachamín E., 2018

En la producción convencional, se valora la huella gris por el uso de fertilizantes sintéticos. Fernández, (2008) “las plantas solo absorben la mitad de esos

fertilizante (...), el 58 % de los nitritos que contaminan el agua provienen de la agricultura”, es decir que se toma en cuenta los agregados nitrogenados; para la huella azul el riego lo manejan a gravedad y por largo tiempo (inundación) para C2 y C3, sin embargo el C1 incluyendo riego por aspersión.

La figura 7, muestra las huella hídricas azul, verde y gris para la CA y CC; se promedian los valores de las HH. La huella azul para la CA es de mayor valor por el tiempo que conlleva el cultivo, al igual que la huella verde por la humedad determinada por el almacenamiento del agua en suelo por la precipitación; a diferencia de la CC que incluye menor consumo de agua por el tiempo del cultivo, bajo almacenamiento de agua producto de la precipitación e incluye la huella gris atribuyéndole como agua contaminada por los agroquímicos empleados.

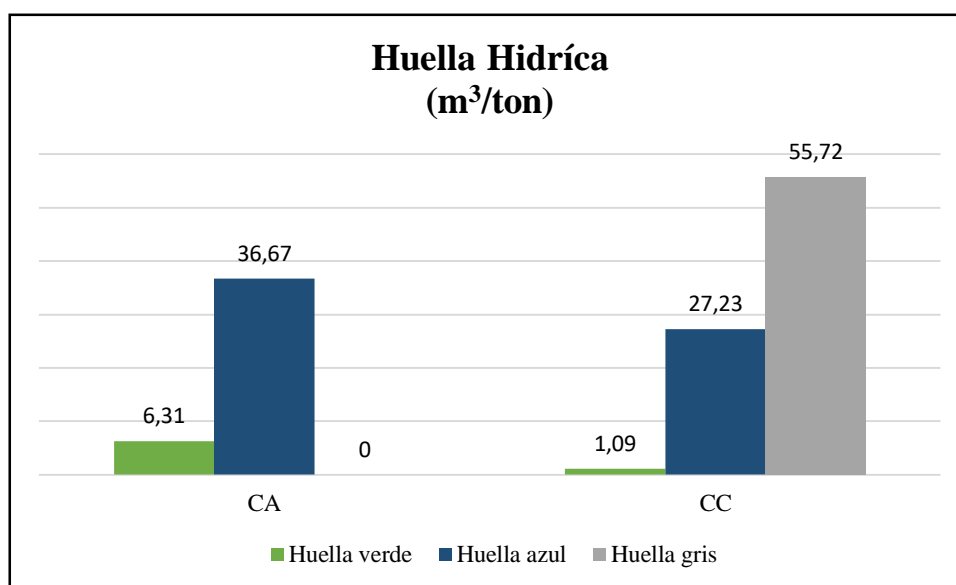


Figura 7. Huella Hídrica para sistema agroecológico y convencional

En cálculo de huella hídrica de la lechuga realizado por Orjuela & Vargas (2016), obtuvieron los siguientes valores; huella verde 105 m³/ton, huella azul 88,4 m³/ton y huella gris de 81,46 m³/ton; estando por encima de los valores determinados en el presente estudio, superándola en tres veces los m³/ton de HH azul y en catorce

veces los m^3/ton de la HH verde, dichas huellas están determinadas por la precipitación en la zona de estudio y por su nula contaminación. Así, también superan los valores determinados para la CC, en HH azul y verdes; por el contrario la HH son similares los m^3/ton de la obtenida por Orjuela y Vargas, difiriendo las huellas con la actual investigación.

Adicionalmente, se presenta los resultados expuestos por FAO en Mekonnen & Hoekstra, (2011) para el cultivo de lechuga, brinda datos de la huella hídrica de la lechuga a nivel mundial $133 \text{ m}^3/\text{ton}$, $28 \text{ m}^3/\text{ton}$, $77 \text{ m}^3/\text{ton}$ para las huellas verde, azul y gris respectivamente, siendo su huella hídrica $237 \text{ m}^3/\text{ton}$. En el presente estudio las huellas agrícolas son de $43 \text{ m}^3/\text{ton}$ para la CA y $84 \text{ m}^3/\text{ton}$ para la CC, de tal manera que la HH Convencional es casi 3 veces menor los m^3/ton y la HH Agroecológica es alrededor de casi 6 veces menor los m^3/ton respecto a la HH Mundial; denotando que producción agroecológica ejerce menor presión sobre la cuenca hidrográfica a la que corresponden los canales de riego Tomalón- Tabacundo y Guanguilqui.

En la figura 8, las huellas totales de la presente investigación, se comprueba con la de FAO.

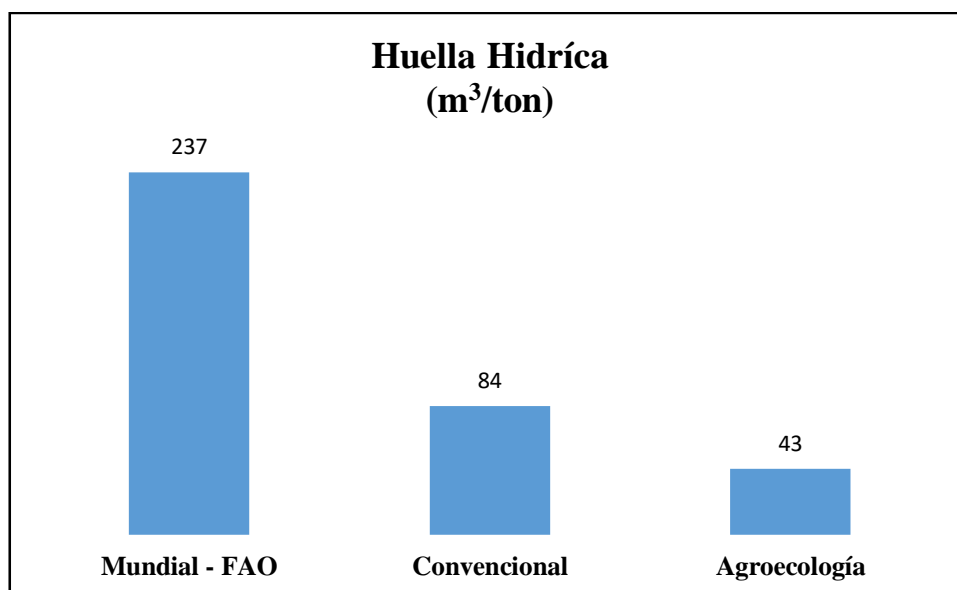


Figura 8. Huella Hídrica total por producción de Lechuga en contraste con FAO
Fuente: (Mekonnen & Hoekstra, 2011)

La producción convencional como se ve en figura 9 de la presente investigación, consume casi el doble de m³/ton que el agroecológico, ejerciendo presión en la cuenca hidrográfica a las que corresponden los canales de riego, el tiempo estimado para producir las lechugas en la CC y CA es un promedio de 60 y 90 días respectivamente, lo que conlleva a mayor consumo de agua para irrigación. En este sentido la HH de la CA es menor a pesar de ser mayor el tiempo de producción, mientras la CA su HH casi duplica el valor de CA en menor tiempo para producir un kilogramo de lechuga.

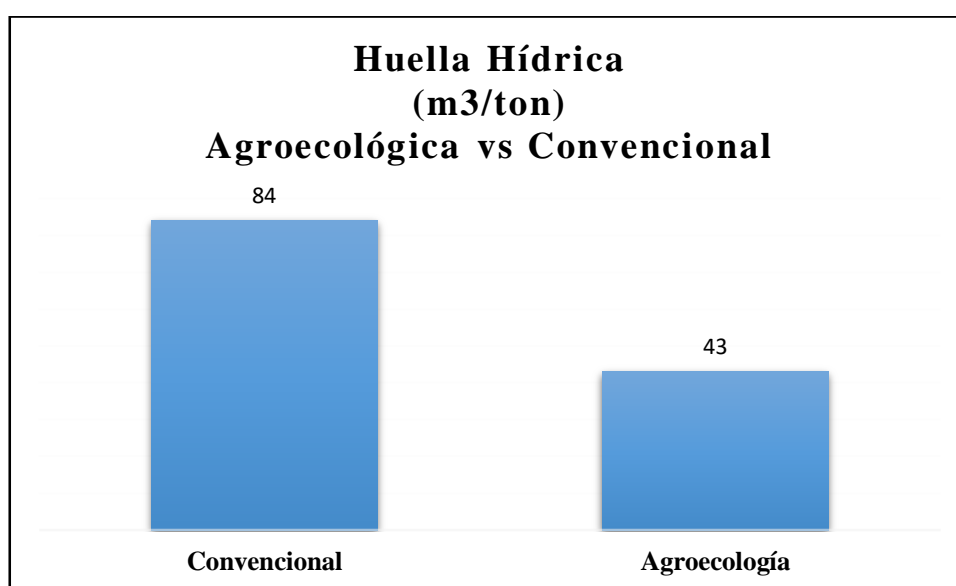


Figura 9. Huella Hídrica total para la CA y CC

Cabe recalcar que las comparaciones no son muy recomendadas, a menos que estas estén realizadas bajo la misma metodología, localidades y procesos que tengan características similares, siendo más factible su comparación.

5.6. Análisis estadístico de los indicadores ambientales

Una vez determinadas las Huellas de Carbono y Huellas Hídricas, se procedió a realizar un análisis estadístico de varianza con la prueba de Tukey; con el objeto de indicar significancia estadística entre los diferentes de indicadores ambientales analizados. Para determinación del análisis se trabajó con un valor alfa de 0,05.

5.6.1. Análisis estadístico de Huella de Carbono

Para el indicado ambiental de Huella de Carbono están expuestos los resultados en las siguientes tablas, mostraron un valor p de 0,0001 lo cual indica que existe una significancia estadística en el análisis de los datos correspondientes a CA y CC; obteniendo dos grupos de datos que denotan una diferencia entre la producción de lechuga de la cadena agroalimentaria convencional y agroecológica. Con base en lo anterior la CC emite mayor emisiones de GEI a la atmósfera en contraste a la CA, es decir que impacta al ambiente pues los GEI contribuyen al Cambio Climático.

Tabla 28 *Análisis de la varianza*

<i>Variable</i>	<i>N</i>	<i>R²</i>	<i>R² Aj</i>	<i>CV</i>
Valor	6	0.98	0.98	10.48

Fuente: La investigación

Tabla 29 *Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)*

<i>F.V.</i>	<i>SC</i>	<i>gl</i>	<i>CM</i>	<i>F</i>	<i>p-valor</i>
Modelo	0.17	1	0.17	216.75	0.0001
HC	0.17	1	0.17	216.75	0.0001
Error	3.20E-03	4	8.00E-04		
Total	0.18	5			

Fuente: La investigación

Tabla 30 *Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.06412. Error: 0.0008 gl: 4*

<i>HC</i>	<i>Medias</i>	<i>n</i>	<i>E.E.</i>	
2	0.44	3	0.02	A
1	0.1	3	0.02	B

Detalle: Los valores de la CA corresponde a grupo de datos 1 y los valores de la CC corresponden al grupo de datos 2

Fuente: La investigación

El presente estudio está orientada en las emisiones provenientes de sistemas agroalimentarios convencional y agroecológico, cabe resaltar que las investigaciones denotan temas de la misma índole para agricultura convencional, mientras para sistemas agrologicos existen estudios enfocados en agricultura orgánica aportando información afín a la conservación y preservación de agro ecosistemas.

Esta investigación corrobora lo obtenido en la “*Comparison of Twelve Organic and Conventional Farming Systems: A Life Cycle Greenhouse Gas Emissions Perspective*” por Venkat (2012), realizado en Estados Unidos en la costa de California, enfocado en el ACV para la determinación de GEI de diferentes productos entre ellos la lechuga; cuyos valores corresponden a los sistemas en estudio como es el convencional con 0,19 kg CO₂eq/ kg producto, orgánico 0,27 kg CO₂eq/ kg producto y convencional en transición a orgánico 0,25 kg CO₂eq/ kg producto, este último es un valor hipotético; en el sistema orgánico su valor es mayor al convencional por el alto consumo de energía fósil y electricidad, así como el control fitosanitario de origen sintético. Con la presente investigación es notable que dichos sistemas son superiores, en casi el doble y triple de kg CO₂eq/kg producto tanto del convencional y orgánico contrastado con las emisiones provenientes de la agroecología. Es decir que la CA y sus aportaciones de GEI al cambio climático son menores frente a los otros sistemas, destacando que en las actividades que implica su fase agrícola no consume energía eléctrica o por combustión.

Basado en el documento “*Energy and Environmental Issues in Organic and Conventional Agriculture*” por los autores Gomiero, Paoletti, & Pimentel, (2008),, destaca la importancia del suelo en la agricultura orgánica, cual permiten ser un

sumidero de carbono en menor tiempo respecto a los suelos convencionales, atribuyéndole mejoras por el almacenamiento de carbono como materia orgánica, estas prácticas alineadas a la conservación de agroecosistemas; así como la agroecología enfocada en preservar la biota, la fauna y la flora presente en sus chacras a diferencia de los convencionales pues sus parcelas son exclusivamente para cultivar

5.6.2. Análisis estadístico de Huella Hídrica

Las tablas 31, 32 y 33 muestran el análisis estadístico realizado para el indicador ambiental Huella Hídrica para las CA y CC. Los resultados mostraron un valor p de 0,0058, lo cual nos indica significancia estadística dentro del análisis de los datos. Se obtuvieron dos grupos de datos; que mostraron una notable diferencia entre la producción de la cadena agroalimentaria convencional y la agroecológica. De tal manera que la CC genera mayor impacto en el ambiente en comparación con la CA, detallada en la tabla 30.

Tabla 31 *Análisis de la varianza*

<i>Variable</i>	<i>N</i>	<i>R²</i>	<i>R² Aj</i>	<i>CV</i>
Valor	6	0.88	0.85	14.72

Fuente: La investigación

Tabla 32 *Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)*

<i>F.V.</i>	<i>SC</i>	<i>gl</i>	<i>CM</i>	<i>F</i>	<i>p-valor</i>
Modelo	2523.14	1	2523.14	28.89	0.0058
HH	2523.14	1	2523.14	28.89	0.0058
Error	349.29	4	87.32		
Total	2872.43	5			

Fuente: La investigación

Tabla 33 *Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=21.1841. Error: 87.3231 gl: 4*

<i>HH</i>	<i>Medias</i>	<i>n</i>	<i>E.E.</i>	
2	83.99	3	5.4	A
1	42.97	3	5.4	B

Detalle: Los valores de la CA corresponde a grupo de datos 1 y los valores de la CC corresponden al grupo de datos 2

Fuente: La investigación

Los datos de la presente investigación se contrastan con los obtenidos en “*Life cycle assessment of organic versus conventional agriculture. A case study of lettuce cultivation in Greece*” por Foteinis y Chatzisyneon (2015), cual sostiene que el consumo de agua en agricultura convencional es superior a la consumida en la agricultura orgánica; por la raíz poca profunda de la lechuga su regadío debe ser ligeramente. Además, destaca que la aplicación de abonos como el estiércol en suelos orgánicos es más eficiente en consumo de agua, requiriendo menor aporte de la misma. Por ello, la CC consume y contamina ejerciendo mayor presión en las fuentes hídricas comparado con la CA; esta última se muestra más amigable con el ambiente pues implica actividades que no incluyen agroquímicos, permitiendo la conservación de suelo y agua, ya que al aumentar la materia orgánica esta a su vez aumenta la retención y disponibilidad de agua para el cultivo.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

En la estimación de huella de carbono para producir un 1kg de lechuga en el sistema convencional se emiten 0,44 kg de CO₂eq, mientras que en el cultivo agroecológico 0,10 kg CO₂eq son emitidos para producir un 1kg de lechuga, de tal manera que los cultivos provenientes de la CC implican mayor impacto al ambiente que la CA, esto recae en las actividades de arado y rastra aplicado al suelo, el uso de fertilizantes sintéticos y la quema de combustible fósil, aplicados y desarrollados en la fase agrícola.

Los análisis físicos - químicos realizados en suelo y agua, a pesar de estar en suelo francos con bajo porcentaje en arcilla, muestran que la materia orgánica es superior en los agroecológicos, esto se debe a las prácticas que aplican a fin de subir su porcentaje como es la preparación, manejo y conservación de los bioinsumos indispensables en su producción, la salinidad también es menor, contrario a las características del suelo de los convencionales, cuya conductividad eléctrica es mayor debido a la aplicación de fertilizantes sintéticos.

En la estimación de huella hídrica en el cultivo del sistema de la cadena agroecológica convencional requiere de 84 litros de agua para la producción de 1 kg de lechuga, este volumen contempla la huella gris como el agua necesaria para diluir o compensar el agua contaminada por los fertilizantes sintéticos aplicados al cultivo. Además de tener en cuenta los problemas que pueden ocasionar a la calidad y disponibilidad del recurso hídrico. En los cultivos de la cadena agroalimentaria agroecológica se requiere de 43 litros para la producción de 1 kilogramo de lechuga

por el carácter de sus prácticas, no se incluye la huella gris pues los bioinsumos que aplican son de origen natural y no generan contaminación, es decir que la CA está por encima de la CC pues no ejerce presión a su cuenca hidrográfica de abastecimiento ni la contamina.

La significancia estadística de los indicadores ambientales, determina la diferencia entre los grupos de datos analizados tanto para Huella de Carbono como Huella Hídrica. De tal manera que la producción de lechuga de la cadena agroalimentaria convencional emite el cuádruple de las emisiones de GEI que el agroecológico, contribuyendo la CC al cambio climático en mayor proporción. También, la huella hídrica de la cadena agroalimentaria convencional es el doble de la agroecológica, ejerciendo mayor presión la CC en consumo de recurso hídrico; en este contexto, los indicadores estimados impactan al ambiente a lo largo de su fase agrícola. Evidenciando a la CA como la más beneficiosa para el ambiente por sus bajas emisiones, así como el consumo de agua requerido en su producción. De igual manera por su aporte a la sociedad y economía al cubrir la demanda de productos locales mismo que implican los saberes ancestrales y culturales; así como el contacto directo entre el productor y consumidor.

Los indicadores ambientales estimados mediante la aplicación del ACV, compara entre ambos sistemas con el fin de determinar su influencia en el ambiente, denotando que los cultivos proveniente de prácticas agroecológicas son sostenibles a diferencia de la producción convencional, por tal motivo estos resultados permitirán respaldar el sello del SPG, mecanismo de participación de la agricultura familiar, que le brinda al productor y consumidor la confianza para adquirir productos sanos y libre de químicos. Contribuyendo a la conservación del ambiente, a una comercialización

justa y equitativa. La agroecología tiene trascendencia en todas las dimensiones, pues su participación cada vez llama la atención, en valorar, conservar al ambiente y los saberes ancestrales, para el buen vivir de todos, estos son aspectos no tomados en cuenta con la agricultura moderna, enfocada solo en la producción.

6.2. Recomendaciones

Se recomienda continuar con la estimación de las huellas en las fases de todo el suministro agroalimentario del producto, a fin de complementar la información.

Se recomienda nuevos estudios que permitan analizar la mitigación, compensación y/o adaptación de las prácticas agroecológicas, donde se valore los servicios ambientales que las organizaciones de la agricultura campesina familiar desarrollan y conservan.

Se recomienda establecer una metodología general que permita la comparación de HH y HC, dentro y fuera del país.

7. BIBLIOGRAFÍA

- AGROCALIDAD, A. E. de S. de la C. del A. (2015a). Instructivo para la toma de muestra de suelos. Recuperado de <http://www.agrocalidad.gob.ec/wp-content/uploads/pdf/laboratorios/suelos-foliares-aguas/instructivo-muestreo-suelos-laboratorios-agrocalidad.pdf>
- AGROCALIDAD, A. E. de S. de la C. del A. (2015b). Instructivo para la toma de muestras de fertilizantes. Recuperado de <http://www.agrocalidad.gob.ec/wp-content/uploads/pdf/laboratorios/fertilizantes/instructivo-toma-muestra-fertilizantes-laboratorios-agrocalidad.pdf>
- AGROCALIDAD, A. E. de S. de la C. del A. (2016). Instructivo para la toma de Muestras para Análisis Bromatológicos. Recuperado de <http://www.agrocalidad.gob.ec/documentos/lab/02-INT-B-09-Tomade-muestras-para-an-lisis-bromatologicos-Rev-4.-Vigente.pdf>
- Agrotecnología. (2018). El pH del agua de riego, corrección con fertilizantes, ácidos y bases. Recuperado de http://www.agro-tecnologia-tropical.com/el_ph.html
- Allen, R., Pereira, L., Raes, D., & Smith, M. (2006). *Evapotranspiración del cultivo Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Roma.
- Altieri, M. (1999). *AGROECOLOGIA Bases científicas para una agricultura sustentable* (2.^a ed.). Montevideo: Nordan-Comunidad. Recuperado de <http://agroeco.org/wp-content/uploads/2010/10/Libro-Agroecologia.pdf>
- Altieri, M., & Nicholls, C. I. (2012). Agroecology Scaling Up for Food Sovereignty and Resiliency. In: Lichtfouse E. (eds) Sustainable Agriculture Reviews. Sustainable Agriculture Reviews, vol 11. Springer, Dordrecht. En *Sustainable*

Agriculture Reviews: Volume 11 (pp. 1-29). Dordrecht: Springer Netherlands.

https://doi.org/10.1007/978-94-007-5449-2_1

Altieri, M., & Toledo, V. (2011). LA REVOLUCIÓN AGROECOLÓGICA EN LATINOAMERICA. *The Journal of Peasant Studies*, 38(3), 587-612.

Andrade, D., & Flores, M. (2008). *Consumo de productos orgánicos/Agroecológicos en los hogares ecuatorianos* (VECO Ecuador). Ecuador: El Chasqui Ediciones.

Recuperado de

<http://www.siicex.gob.pe/siicex/documentosportal/alertas/documento/doc/63780450radBF21D.pdf>

Banco Mundial. (2018). El agua en la agricultura [Text/HTML]. Recuperado de <http://www.bancomundial.org/es/topic/water-in-agriculture>

Barrera, A. (2011). Nuevas realidades, nuevos paradigmas: la nueva revolución agrícola. *COMUNICA*, 7, 10-21.

BioGrace. (2011). BIOGRACE Complete list of standard values version public.

Recuperado de

<https://www.biograce.net/content/ghgcalculationtools/standardvalues>

BSI, B. S. I. (BSI). (2008). *PAS 2050:2008. Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services- Guide to PAS 2050. How to Access the Carbon Footprint of goods and services*. London: BSI.

Carpio, T. (2007). *Turbiedad por Nefelometría (Método B)*. Instituto de Hidrología,

Metereología y Estudios Ambientales. Recuperado de

<http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Turbiedad+por+Nefelometria%20C3%ADa..pdf/fc92342e-8bba-4098-9310-56461c6a6dbc>

- Carrillo, I. (1985). Manual de laboratorio de suelos. Recuperado de <http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/803/1/Manual%20de%20laboratorio%20de%20suelos.pdf>
- Casas, R. (2011). *El suelo de cultivos y las condiciones climáticas*. España: Paraninfo, S.A.
- Centro de Comercio Internacional [ITC]. (2012). *Normas de la Huella de Carbono de Productos Agrícolas*. Ginebra.
- CEPAL, C. E. para A. L. y el C. (2012). *Diagnóstico de las Estadísticas del Agua en Ecuador* (No. IIIc) (p. 81). Comisión Económica para América Latina y el Caribe. Recuperado de <http://aplicaciones.senagua.gob.ec/servicios/descargas/archivos/download/Diagnostico%20de%20las%20Estadisticas%20del%20Agua%20Producto%20IIc%202012-2.pdf>
- CIDSE, C. I. para el D. y la S. (2018). LOS PRINCIPIOS DE LA AGROECOLOGÍA HACIA SISTEMAS ALIMENTARIOS JUSTOS, RESILIENTES Y SOSTENIBLES. Recuperado de https://www.manosunidas.org/sites/default/files/imce/noticias/es_los_principios_de_la_agroecologia_cidse_2018.pdf
- CIREN, C. de I. de R. N. (2017). Modelo de adaptación al cambio climático por medio de la zonificación de aptitud productiva de especies hortifrutícolas priorizados en la región de. Recuperado 15 de junio de 2018, de <https://www.ciren.cl/wp-content/uploads/2017/12/Lechuga.pdf>
- CONVENCIÓN MARCO DE LAS NACIONES UNIDAS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO (CMNUCC). (1992). CONVENCIÓN MARCO DE LAS

- NACIONES UNIDAS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO. Recuperado de <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>
- Cumbre Mundial sobre la Seguridad Alimentaria. (2009). DECLARACIÓN DE LA CUMBRE MUNDIAL SOBRE LA SEGURIDAD ALIMENTARIA. Recuperado de http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/Summit/Docs/Final_Declaration/K6050S_WSFS_OEWG_06.pdf
- Doménech, X. (1995). *Química del suelo. El impacto de los contaminantes* (Miraguano S.A). Madrid: España.
- EIRS, E. I. de R. sustentable. (2018). Origen de la lechuga. Recuperado de <https://blogagricultura.com/origen-de-la-lechuga/>
- FAO. (1996). Declaración de Roma sobre la Seguridad Alimentaria Mundial. Recuperado de <http://www.fao.org/3/W3613S/W3613S00.htm>
- FAO. (2013). *El manejo del suelo en la producción de hortalizas con buenas prácticas agrícolas*.
- FAO. (2019a). Suelos afectados por salinidad | Portal de Suelos de la FAO | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Recuperado de <http://www.fao.org/soils-portal/soil-management/manejo-de-suelos-problematicos/suelos-afectados-por-salinidad/es/>
- FAO, O. de las N. U. para la A. y la A. (2014). Agriculture, forestry and other land use emissions by sources and removals by sinks. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/019/i3671e/i3671e.pdf>

- FAO, O. de las N. U. para la A. y la A. (2015). FAO - Noticias: Los contaminantes agrícolas: una grave amenaza para el agua del planeta. Recuperado 15 de enero de 2019, de <http://www.fao.org/news/story/es/item/1141818/icode/>
- FAO, O. de las N. U. para la A. y la A. (2016). AQUASTAT. Recuperado 6 de agosto de 2018, de http://www.fao.org/nr/water/aquastat/tables/WorldData-Withdrawal_esp.pdf
- FAO, O. de las N. U. para la A. y la A. (2019b). Cadenas agroalimentarias [Portal]. Recuperado 8 de enero de 2019, de <http://www.fao.org/energy/agrifood-chains/es/>
- FAOSTAT. (2018). FAOSTAT-Producción de lechugas y archioria. Recuperado 15 de octubre de 2018, de <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>
- Fernández, M. (2008). Fertilizantes y contaminantes, un círculo vicioso. Recuperado de https://portal.uah.es/portal/page/portal/epd2_asignaturas/asig36357/informacion_academica/art.fertilizantes.PDF
- FLACSO, MAE, & PNUMA. (2008). Informe sobre el estado del medio ambiente. Recuperado de <http://biblio.flacsoandes.edu.ec/catalog/resGet.php?resId=41449>
- FOESA. (2013). *GUÍA PARA EL CÁLCULO DE LA HUELLA DE CARBONO EN PRODUCTOS ACUÍCOLAS* (p. 64). Madrid: Fundación Biodiversidad del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Recuperado de http://www.observatorio-acuicultura.es/sites/default/files/images/stories/publicaciones/libros/guia_huella_co2_web.pdf

- Foro Mundial por la Soberanía Alimentaria. (2007). Declaración de Nyéléni Foro Mundial por la Soberanía Alimentaria Nyéléni, Selingue, Malí, 23 al 27 de febrero de 2007. Recuperado de <http://biblioteca.clacso.edu.ar/ar/libros/osal/osal21/Nyeleni.pdf>
- FORO MUNDIAL SOBRE SOBERANÍA ALIMENTARIA. (2001). Declaración Final del Foro Mundial sobre Soberanía Alimentaria. Recuperado de http://base.socioeco.org/docs/doc-792_es.pdf
- Foteinis, S., & Chatzisyneon, E. (2015). Life cycle assessment of organic versus conventional agriculture. A case study of lettuce cultivation in Greece, *112*(4), 2462-2471. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.075>
- GADIP, M. de C. Ordenanza Regulación del Uso del Espacio Público para la Comercialización de productos sanos en Ferias Agroecológicas (2018).
- GDPP, G. D. de P. de P. LA ORDENANZA PARA FOMENTAR LA PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS AGROECOLÓGICOS (2012). Recuperado de <http://www.heifer-ecuador.org/wp-content/uploads/2018/03/5.-Ordenanza-Pichincha-Agroecologica-Revisada-30-abril-2012.pdf>
- Gliessman, S. R., Engles, E., & Krieger, R. (1998). *Agroecology: ecological processes in sustainable agriculture*. Chelsea, MI: Ann Arbor Press.
- Gomiero, T., Paoletti, M., & Pimentel, D. (2008). Energy and Environmental Issues in Organic and Conventional Agriculture, *27*(4), 239-254.
- HACH COMPANY. (2000). *MANUAL DE ANALISIS DE AGUA*. Manual, Colorado. EEUU.
- HEIFER, F. H. E. (2014). *La agroecología está presente*. Quito. Recuperado de http://www.heifer-ecuador.org/wp-content/uploads/libros/1_La_agroecologia_esta_presente_ES.pdf

- Heredia, S. (2018). El agua de Riego: Criterios de Interpretación. Efectos sobre el suelo y la producción.
- Hoektra, A., Chapagain, A., Aldana, M., & Mekonnen, M. (2011). *The Water Footprint Assessment Manual*. London-Washington, DC: Earthscan.
- Hospido, A., Milà, L., McLaren, S., Truninger, M., Gareth, E., & Clift, R. (2009). The role of seasonality in lettuce consumption: a case study of environmental and social aspects. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 14(5), 381-391.
- INEC, I. N. de E. y C. (2002). *III CENSO NACIONAL AGROPECUARIO*. Ecuador. Recuperado de http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/CNA/Tomo_CNA.pdf
- IPCC. (2006a). *Capítulo 11. EMISIONES DE N₂O DE LOS SUELOS GESTIONADOS Y EMISIONES DE CO₂ DERIVADAS DE LA APLICACIÓN DE CAL Y UREA*. C. Klein, R. Novoa, S. Ogle, K. Smith, P. Rochette, T. Wirth (Eds.). Japón:IGES.
- IPCC, P. I. de C. C. (2006b). *Capítulo 1. Introducción*. En S. Eggleston, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, y K. Tanabe (Eds.), *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero Volumen 2. Energía*. Japón:IGES.
- IPCC, P. I. de C. C. (2006c). *Capítulo 3. Combustión Móvil*. En S. Eggleston, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, y K. Tanabe (Eds.), *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero Volumen 2. Energía*. Japón:IGES.
- IPCC, P. I. de C. C. (2013). *Cambio Climático 2013. Bases físicas* (No. V) (p. 34). Berna.

- ISO 14040. (2006). Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework.
- James, D., & Junirak, J. (1982). *Moder Irrigat Soils*. Wiley. New Youk. Jeevanda. M. Kannan., R. Srinivasalu. S. Rammohan. v. 2006. *Hydrogenochemistry and Groudwater Quality Assessment of Lower Parte of Ponnaiyar River Basin*. Department of Geology. Cuddalore District:South India.
- Jaramillo, J., Aguilar, P., Tamayo, P., Arguello, E., & Guzmán, M. (2016). *Modelo tecnológico para el cultivo de lechuga bajo buenas prácticas agrícolas en el Oriente Antioqueño* (1.^a ed.). Medellín, Colombia: Departamento de Antioquia.
- Koohafkan, P., Altieri, M., & Holt, E. (2012). Green Agriculture: foundations for biodiverse, resilient and productive agricultural systems, *10*(1), 61-75.
- LORSA, L. O. D. R. D. L. S. A. LEY 1, Pub. L. No. Registro Oficial Suplemento 583 (2010). Recuperado de <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu88076.pdf>
- MAE. Acuerdo Ministerial 097A Edición Especial N° 387 - Registro Oficial. Ministerio del Ambiente (2015). Recuperado de <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu155128.pdf>
- MAE, M. del A. E. (2017). Tercera Comunicación Nacional del Ecuador a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Recuperado de <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/10/TERCERA-COMUNICACION-BAJA-septiembre-20171-ilovepdf-compressed1.pdf>
- Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2011). The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. *Hydrology and Earth System Sciences*, *15*(5), 1577-1600. <https://doi.org/10.5194/hess-15-1577-2011>

- Ministerio del Ambiente. (2012). Avances y Perspectivas del MINAM entorno a los Indicadores Ambientales- Lima. Recuperado 10 de enero de 2019, de https://www.oecd.org/greengrowth/Peru%20-%20presentacion_indicadores.pdf
- Muñoz, B. P. G., & Méndez, J. P. Q. (2017). *AGROECOLOGÍA Y DESARROLLO LOCAL: FORTALECIMIENTO DEL MODELO DE GESTIÓN LOCAL EN LA ASOCIACIÓN RESSAK, PARROQUIA AYORA, CANTÓN CAYAMBE, PROVINCIA DE PICHINCHA 2016*. PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR, QUITO.
- NTE INEN 2226, N. (2000). GUA CALIDAD DEL AGUA MUESTREO DISEÑO DE LOS PROGRAMAS DE MUESTREO.
- OECD. (2008). *Desarrollo sostenible: vincular la economía, la sociedad, el medio ambiente*. Paris, Francia. Recuperado de <https://www.oecd.org/insights/41774475.pdf>
- OMM, O. M. M. (2018, noviembre 22). BOLETÍN DE LA OMM SOBRE LOS GASES DE EFECTO INVERNADERO, (14), 9.
- OMS. (2016). OMS | ¿Residuos de plaguicidas en los alimentos? [Portal]. Recuperado 9 de enero de 2019, de <http://www.who.int/features/qa/87/es/>
- Orjuela, M. A., & Vargas, D. (2016). *Estrategias para el uso eficiente del agua a partir de la estimación de huella hídrica en cultivos de Lechuga (Lactuca Sativa) y Brócoli (Brassica) para una finca de diez hectáreas en Mosquera Cundinamarca*. Universidad de La Salle. Recuperado de http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/20412/41112702_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Ortega, G. (2009). Agroecología vs. Agricultura Convencional. *BASE*, 128b, 24.

- Pérez, M. (2007). *Comercio internacional y medio ambiente en Colombia: mirada desde la economía ecológica* (Ilustrada). Cali: Universidad del Valle. Recuperado de https://books.google.com.ec/books?id=ye-6UdxyMawC&dq=impactos+ambientales+de+la+agricultura+moderna&source=gbs_navlinks_s
- República del Ecuador. (2008). Constitución del Ecuador.
- Rhoades, J. D., Chanduvi, F., & Lesch, S. (1999). *Methods and Interpretation of electrical conductivity measurements*. Italy:Roma: FAO. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/019/x2002e/x2002e.pdf>
- Roa, T. (2004). Foro Mundial de Reforma Agraria. Recuperado de Dialnet-ForoMundialDeLaReformaAgraria-5373389%20.pdf
- Romero, B. I. R. (2003). El Análisis del Ciclo de Vida y la Gestión Ambiental, 7.
- Rucks, L., García, F., Kaplán, A., Ponce de León, J., & Hill, M. (2004). *Propiedades Físicas del Suelo*. Montevideo: Uruguay. Recuperado de <http://bibliofagro.pbworks.com/f/propiedades+fisicas+del+suelo.pdf>
- Saavedra, G. (2017). *Manual de producción de lechuga* (No. 09) (p. 150). Instituto de Desarrollo Agropecuario - Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Recuperado de <http://www.inia.cl/wp-content/uploads/ManualesdeProduccion/09%20Manual%20Lechuga.pdf>
- Sandoval, E. (2017). *ESTIMACIÓN DE LA HUELLA HIDRÍCA EN LOS CULTIVOS DE QUINUA (CHENOPODIUM QUINOA) DE LOS CANTONES CAYAMBE Y RIOBAMBA UBICADOS EN LOS ANDES ECUATORIANOS*. UNIVERSIDA POLITÉCNICA SALESIANA, QUITO. Recuperado de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14109/1/UPS%20-%20ST003037.pdf>

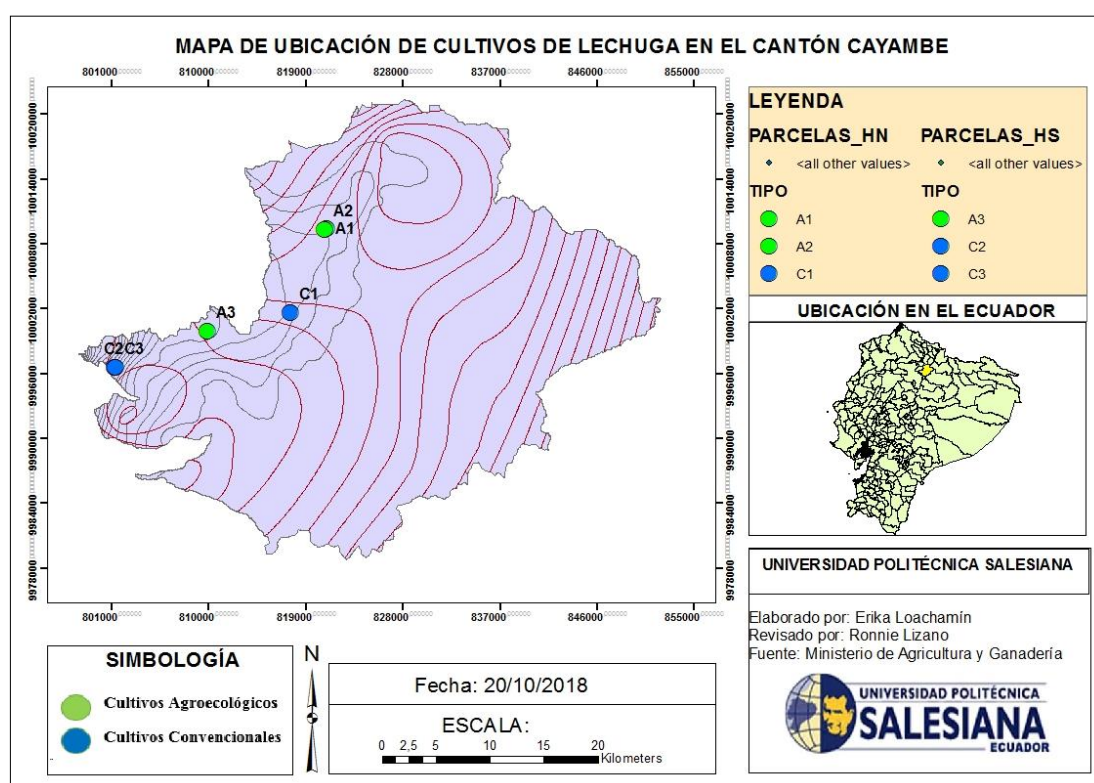
- Sarandón, S. J., & Flores, C. C. (2014). *Agroecología: bases teóricas para el diseño y manejo de Agroecosistemas sustentables* (Primera). La Plata: Editorial de la Universidad Nacional de La Plata. Recuperado de <http://public.ebib.com/choice/publicfullrecord.aspx?p=4499391>
- SEDAL, F. S. para el D. A. (2018). Sistemas Participativos de Garantía SPG.
- Sierra, C. (1982). *LA ACIDEZ Y ALCALINIDAD* (p. 16). Osorno: Chile.
- Sistema Nacional de Información. (2014). Cantón Cayambe, Provincia de Pichincha. Recuperado de http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/Portal%20SNI%202014/FICHAS%20F/1702_CAYAMBE_PICHINCHA.pdf
- Sobrero, M., & Ronco, A. (2004). Ensayo de toxicidad aguda con semillas de lechuga *Lactuca sativa* L. Recuperado de <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/573/cap4.pdf>
- Torres, D., & Capote, T. (2004). *Agroquímicos un problema ambiental global: uso del análisis químico como herramienta para el monitoreo ambiental* (Vol. 3).
- Venkat, K. (2012). Comparison of Twelve Organic and Conventional Farming Systems: A Life Cycle Greenhouse Gas Emissions Perspective, 36(6), 620-649. <https://doi.org/10.1080/10440046.2012.672378>
- Water Footprint. (2018). ¿Qué es una huella hídrica? Recuperado de [/en/water-footprint/what-is-water-footprint/](http://en.water-footprint/what-is-water-footprint/)
- Woerishofer, M. (2011). Carbon footprint of local produced fruits and vegetables compared to imported goods from overseas in the Caribbean and Latin America. Soil & More International. Recuperado de <http://dapa.ciat.cgiar.org/wp-content/uploads/2011/07/Carbon-Footprint-in-the-Caribbean-and-Latin-America.pdf>

8. ANEXOS

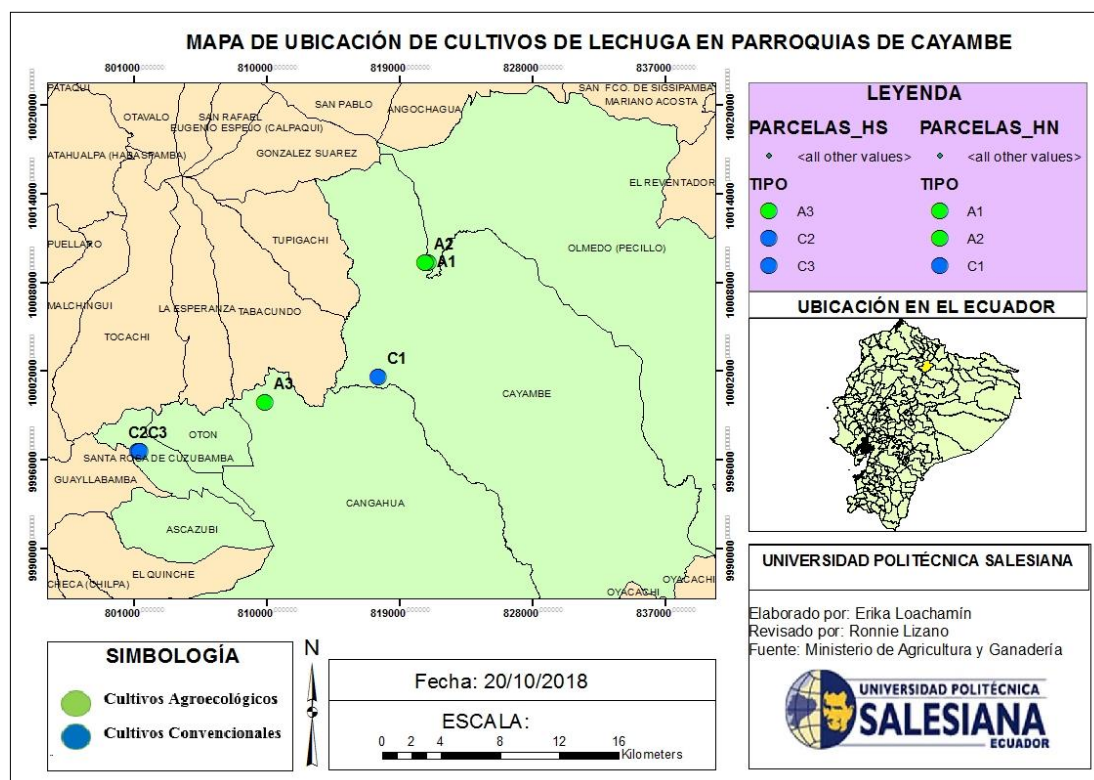
Anexo 1. Socialización de la investigación



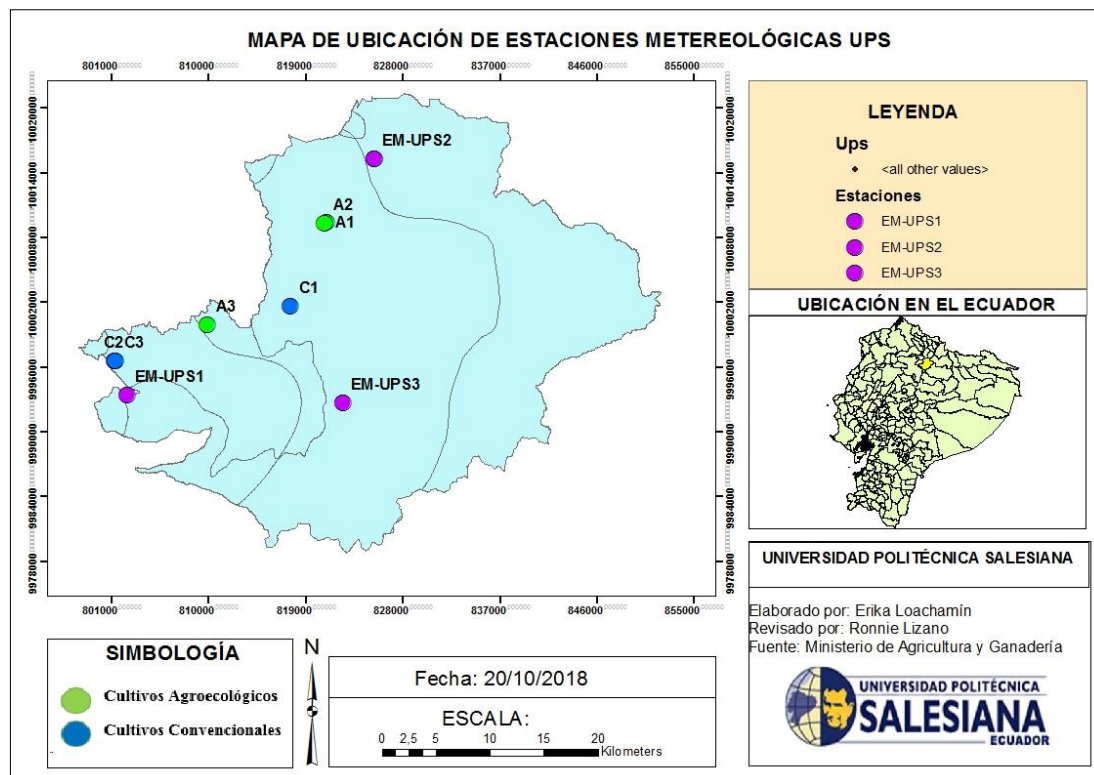
Anexo 2. Identificación de productores de lechuga



Anexo 3. Identificación de productores por parroquia



Anexo 4. Mapa de Estaciones Meteorológicas



Anexo 5. Muestreo de agua

<p>Toma de muestra</p> 	<p>Toma de muestra en reservorio</p> 
<p>Identificación de la muestra</p> 	<p>Etiquetado</p> 

Anexo 6. Muestreo de suelo



Anexo 7. Muestreo de fertilizantes



Anexo 8. Muestreo de producto



Anexo 9. Análisis de laboratorio



Anexo 10. Visitas a campo



Anexo 11. Fertilizantes sintéticos y plaguicidas



Anexo 12. Calculo de Huella de Carbono

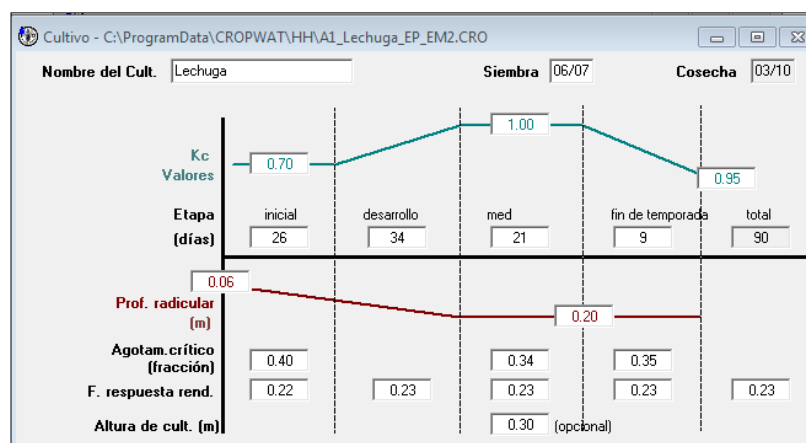
CÁLCULO DE CO ₂ EMITIDOS POR EL TRACTOR Kubota M108 S	
Cantidad de diésel (galones)	0,00
Cantidad de diésel (m ³)	0,000
Cantidad de diésel (kg)	0,00
Cantidad de diésel (Gg)	0,00000
VCN TJ	0,000
VCN GJ	0,00
CO ₂ (kg)	0,00
NO ₂ (kg)	0,000
CH ₄ (kg)	0,000
kg CO ₂ eq	0,00
kg NO ₂ eq	0,00
kg CH ₄ eq	0,00
TOTAL kg CO ₂ eq	0,000

Datos para la Estimación de la Huella de Carbono				
JULIO				
TIPO DE CULTIVO	LECHUGA			
VARIEDAD	REPOLLO			
RENDIMIENTO DEL CULTIVO				
Superficie cultivada	28,38	m2		
número de lechugas	150	brocolis		
Peso de cada lechugas	1,35	Kg		
kg/c/ha	63875,7764	kg/c/ha		
Cálculo de rendimiento=	202,50	Kg lechugas/2511	Rendimiento de la	
	63875,76	Kg lechuga/ha		
FASE	PREPARACIÓN DEL SUELO INPUT			
SUB-FASE	ARADO DEL SUELO			
TRABAJO REALIZADO POR LOS PRODUCTORES	NUMERO DE PERSONAS	0	HORAS	0
TIPO DE VEHÍCULO	TRACTOR Kubota M108 S			
FUENTE DE EMISIÓN	MÓVIL	2	ESTACIONARIA	
TIPO DE COMBUSTIBLE	GASOLINA		DIÉSEL	
	BIOCOMBUSTIBLE		OTRO	
CONSUMO DE COMBUSTIBLE	CANTIDAD		UNIDAD	
	0		dólaro/día	
	0,00		Galanor/día	
SUB-FASE	FERTILIZACIÓN DEL SUELO			
TRABAJO REALIZADO POR LOS PRODUCTORES	NUMERO DE PERSONAS	1	HORAS	30
TIPO	ABONO ORGÁNICO		TE SINTÉTICO	
	COMPOST	2	OTRO	
	CANTIDAD		UNIDAD	
Bacardi	0,49		Kg/KgLe	
NTOTAL	10700		mg/kg	
	0,005243		kgN/KgLe	
Carbono Orgánico	0		%	
Materia Orgánica	0		%	

Precipitación mensual - C:\ProgramData\CROPWAT\HH\1_pp_2015_Pisque.CRM

Estación **EM-UPS-1-Pisque** Método Prec. Ef **Fórmula FAO/AGLW**

	Precipit.	Prec. efec
	mm	mm
Enero	62.6	27.6
Febrero	52.6	21.6
Marzo	59.8	25.9
Abril	163.8	107.0
Mayo	19.0	1.4
Junio	1.0	0.0
Julio	25.2	5.1
Agosto	0.4	0.0
Septiembre	3.8	0.0
Octubre	69.0	31.4
Noviembre	70.6	32.5
Diciembre	3.4	0.0
Total	531.2	252.4



Suelo - C:\ProgramData\CROPWAT\data\soils\FAO\LIGHT.SOI

Nombre del suelo **Light (sand)**

Datos generales de suelo:

Humedad de suelo disponible total (CC-PMP)	60.0	mm/metro
Tasa máxima de infiltración de la precipitación	40	mm/día
Profundidad radicular máxima	900	centímetros
Agotamiento inicial de hum. de suelo (como % de ADT)	0	%
Humedad de suelo inicialmente disponible	60.0	mm/metro

Anexo 15. Calculo de Huella Hídrica gris

INFORMACIÓN BASE				
Sistema	CONVENCIONAL			
CULTIVO [t]:	LECHUGA			
PRODUCTOR:	CESAR CHASI			
PRÁCTICAS DE MANEJO POR COMPONENTE				
Cris	Se incorporan al suelo productos químicos?	SI	CALCULAR EN GRIS	
Lista de productos químicos aplicados para el cultivo				
Nombre comercial del	Función	Cantidad utilizada en		
38187	Fertilizante	8,1	para ejemplo 2 libras/paralelo (paralelo de 2	
18548	Fertilizante	8,1		
Parari	Herbicida	58		
Gramoxoon	Herbicida	188		
RENDIMIENTO DEL CULTIVO				
Superficie sembrada	125,34	m ²		
Cosecha/m ²	288	kg/m ²		
Producción	36,0	kg		
Costos de producción				
1.-	5,54	usd/m ²		
2.-	6,65	kg/m ²		
3.-	8,8855	kg/m ²	Rendimiento de la parcela	
Ecuación				
$Y = \frac{(C_{max} - C_{nat}) \cdot (1 - AR)}{C_{max} - C_{nat}}$				
Donde:				
C	Presión de infiltración de agua de riego aplicada [18X Indus]	8,1		
AR	Cantidad de fertilizante aplicada al cultivo [Kg/ha; Kg/m ²]			
C _{max}	Concentración máxima permisible de nitrógeno en la fuente exógena			
C _{nat}	Concentración natural del nitrógeno en la fuente exógena			
Y	Rendimiento del cultivo [T/m ²]			
AR				
Producto:	38187			
Cantidad total apl.	8,1	Kg/paralelo		
Cantidad aplicada	8,84555229	Kg/m ² (en paralelo)	188 X	
AR				
Concentración max				
Elemento	Parámetro [X]	Concentración [Kg/m ²]	[mg/l]	[Kg/m ³]
H	38	8,84555229	5	8,885
P	18	8,84555229	8	8
K	7	8,84555229	8	8
CÁLCULO				
Elemento	[1] [C-AR]	[2] [C _{max} -C _{nat}]	[1]/[2] / Y	Si se aplica en una superficie de
H	8,84555229	8,885	48,33552815	
P	8	8	8	
K	8	8	8	

Anexo 16. Características del Sistema de Participación Garantizada

Dimensiones: Política, social, cultural, ecología y económica



Cultivos convencionales C1, C2 y C3 respectivamente



Anexo 17. Sustentabilidad

Dimensiones evaluadas y valoradas a través del SPG													
COD_PRODUTOR:		AGROECOLOGICO						CONVENCIONAL					
		A1		A2		A3		C1		C2		C3	
		Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No
Política													
1	Evalúa el nivel de incidencia política de la mujer (socia) en la defensa de la agroecología en los espacios de comunidad, parroquia, cantón												
	Verifica si el sistema de su parcela depende de compra y uso de insumos externos, principalmente semillas y abonos,												
	Mide su conocimiento en cuanto a normas y leyes que favorecen la soberanía alimentaria a nivel nacional												
Social													
2	Registra a qué organizaciones pertenece y cómo participa en cada una de ellas.												
	Intercambia conocimientos con otros campesinos												
	Su organización de base está fortalecida												
	Participa la familia en el desarrollo de la propuesta												
Cultural													
3	Rescata, produce y consume alimentos andinos												
	Realiza mingas en las labores de la parcela, como en la cosecha												
	Semillas tradicionales que posee y mecanismos de conservación												
Ecología													
4	Agroforestería												
	Conservación del suelo												
	Diversidad de cultivos y manejo de abonos												
	Cosecha y poscosecha												
	Crianza de animales												
Economía													
5	Participa en ferias agroecológicas y/ u otros canales de comercialización directa												
	Posee su organización una caja solidaria												
	Planifica la siembra de su parcela												
	realiza trueque de productos												
	reinvierte las ganancias que obtiene en la venta												
	La movilización de los productos apoya la economía local												
	Maneja contabilidad para verificar el rendimiento de su parcela												

Anexo 18. Análisis del producto



LABORLAB
ANÁLISIS DE ALIMENTOS, AGUAS Y AFINES
INFORME DE RESULTADOS



Servicio de Asesoría Científica
Asesoría N° 048 LE 10 00-001
LABORATORIO DE ENDA FOS

Orden de trabajo N° 188564
Hoja 1 de 1

NOMBRE DEL CLIENTE: Ronnie Lizano
DIRECCIÓN: La Vicentina
MUESTRA: Lechuga CC002
CARACTERÍSTICA DE LA MUESTRA: Verdura entera
ANÁLISIS: Organoclorados
FECHA DE RECEPCIÓN: 21 de noviembre del 2018
FECHA DE TOMA DE MUESTRA: 20 de noviembre del 2018
LOCALIZACIÓN: Cusubamba
ENVASE: Funda ziploc
FECHA DE REALIZACIÓN DE ENSAYO: 21 de noviembre – 5 de diciembre del 2018
FECHA DE EMISIÓN DEL INFORME: 6 de diciembre del 2018
TOMA DE MUESTRA: Por cliente
CONDICIONES AMBIENTALES: 22.2°C 60%HR

ORGANOCORADOS	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADO
α-HCH	AOAC 2007.01 /Modificado con Cromatografía de gases MSD	mg/kg	< 0.01
HCB		mg/kg	< 0.01
β-HCH		mg/kg	< 0.01
γ-HCH (Lindano)		mg/kg	< 0.01
δ-HCH		mg/kg	< 0.01
Heptaclor		mg/kg	< 0.01
Aldrin		mg/kg	< 0.01
Cis-Heptacloropóxido		mg/kg	< 0.01
Trans-Heptacloropóxido		mg/kg	< 0.01
Trans-Clordano		mg/kg	< 0.01
Cis-Clordano		mg/kg	< 0.01
pp-DDE		mg/kg	< 0.01
Dieldrin		mg/kg	< 0.01
Endrin		mg/kg	< 0.01
pp-DDD		mg/kg	< 0.01
op-DDT		mg/kg	< 0.01
pp-DDT		mg/kg	< 0.01

No se encontró residuos de pesticidas Organoclorados.

Dra. Cecilia Luzuriaga
GERENTE GENERAL

El presente informe es válido sólo para la muestra analizada.